

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis

Guilherme Mendes Soares

**ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAS JOVENS DE *EUCALYPTUS* E
CORYMBIA EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO**

Diamantina, Minas Gerais

2016

Guilherme Mendes Soares

**ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAS JOVENS DE *EUCALYPTUS* E
CORYMBIA EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Marcelo Luiz de Laia

Diamantina, Minas Gerais

2016

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

S676e

Soares, Guilherme Mendes

Estoque de carbono em plantas jovens de Eucalyptus e Corymbia em diferentes densidades de plantio / Guilherme Mendes Soares. – Diamantina, 2016.

65 f. : il.

Orientador: Marcelo Luiz de Laia

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

1. Densidade de plantio. 2. Biomassa. 3. Gás carbônico.
4. Mitigação. I. Título. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 660.6

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GUILHERME MENDES SOARES

**Estoque de carbono em plantas jovens de *Eucalyptus* e *Corymbia*
em diferentes densidades de plantio**

Dissertação apresentada ao
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM BIOCOMBUSTÍVEIS, nível de
MESTRADO como parte dos requisitos
para obtenção do título de MESTRE
EM BIOCOMBUSTÍVEIS

Orientador : Prof. Dr. Marcelo Luiz De
Laia

Data da aprovação : 15/10/2016



Prof.Dr. RONNIE VON DOS SANTOS VELOSO - UFVJM



Prof.^a Dr.^a JULIANA JERASIO BIANCHE - IFMG



Prof.Dr. CHRISTÓVÃO PEREIRA ABRAHÃO - UFVJM



Prof.Dr. MARCELO LUIZ DE LAIA - UFVJM

DIAMANTINA

A minha família, pela dedicação e carinho.

A meus amigos, pela atenção e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A minha família, por todo amor, compreensão e apoio prestado a mim durante os anos de graduação e pós-graduação.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, pelos conhecimentos teóricos e práticos, orientações e atenção dados.

A Aperam Bioenergia S/A, ao Departamento de Engenharia Florestal e ao LipemVale da UFVJM por disponibilizar recursos e condições necessárias para realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcelo Luiz de Laia pela ajuda profissional, acadêmica, pessoal, e orientação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Cristóvão Pereira pelos recursos e apoio disponibilizado.

Ao amigo Emerson Delano Lopes por toda a ajuda prestada e pelo companheirismo.

Ao técnico Abraão Viana pelo grande auxílio dado a esta pesquisa.

Aos amigos Philipe, Kelton, Rafael, Leonardo pela vivência e ensinamentos dentro e fora do laboratório.

Aos amigos Bruno, Hiago, Gabriel, Pedro, Altino, Jefferson, Patrick, Marco Aurélio, Jaíne, Pedro Vítor, Anderson, Fernando, e todos os outros pela compreensão, companheirismo e felicidade proporcionados.

Ao pessoal do Laboratório de Genética e Melhoramento Florestal, aos colegas do Mestrado e Doutorado da Pós-graduação em Biocombustíveis, e todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

Há quem passe por um bosque e só veja lenha para a fogueira.

Leon Tolstoy

RESUMO

O aumento significativo das concentrações de CO₂ atmosférico após a Revolução Industrial tem agravado o efeito estufa natural do planeta, levando a elevação das temperaturas médias e às mudanças climáticas globais. O tema tem preocupado cientistas, governo e sociedade, resultando em medidas para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e mitigação de seus efeitos nocivos. Em 1997, o Protocolo de Quioto estabeleceu metas de redução de emissões de GEEs, sobretudo o CO₂. Como espécies de rápido crescimento são consideradas eficientes na fixação de carbono, nesta pesquisa foram utilizados três clones de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, haja vista seu rápido crescimento e sua alta produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar pelo método destrutivo, aos 12 meses de idade, a produção da massa de carbono da parte aérea de três clones: um híbrido espontâneo de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, um híbrido tri-cross de *E. urophylla* x (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), e um híbrido de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S.Johnson x *Corymbia torelliana* (F. Muell.) K. D. Hill & L. A. S implantados em diferentes espaçamentos de plantio: 3x3 m; 3x1,5 m; e 3x1 m. O estudo foi conduzido em uma área experimental da empresa Aperam Bioenergia S/A, localizada no município de Itamarandiba, MG. Foram abatidas 36 árvores amostras, que foram cubadas, desganhadas e desfolhadas, foram coletadas amostras de folhas, galhos, casca e madeira para determinação de massa seca e teor de carbono dos componentes da parte aérea. De acordo com os resultados encontrados, conclui-se que o espaçamento que registrou a maior fixação de carbono por unidade de área foi o 3x1 m, e os clones mais produtivos foram os híbridos de *E. urophylla* e o tri-cross de *E. urophylla* x (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Além disso, o espaçamento 3x3 m apresentou os valores mais elevados de massa seca e de carbono por árvore. Os clones utilizados neste experimento se apresentaram como alternativa potencial para projetos de sequestro de carbono e mitigação dos gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Densidade de plantio; Biomassa; Gás carbônico; Mitigação.

ABSTRACT

The significant increase in atmospheric CO₂ concentrations since the Industrial Revolution has exacerbated the natural greenhouse effect on the planet, resulting in rising average temperatures and global climate changes. The issue has worried scientists, government and society, leading them to take action to reduce emissions of greenhouse gases (GHG) and mitigating its harmful effects. In 1997, the Kyoto Protocol established GHG emissions reduction targets, especially CO₂. As fast-growing species are considered efficient in carbon sequestration, this research used three clones of species of *Eucalyptus* and *Corymbia*, given its rapid growth and high productivity. The objective of this study was to evaluate by the destructive method, at 12 months of age, the production of dry mass and carbon of the aerial part of three clones: a spontaneous hybrid of *Eucalyptus urophylla* ST Blake, an hybrid tri-cross *E. urophylla* x (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), and a hybrid of *Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson x *Corymbia torelliana* (F. Muell.) K. D Hill & L. A. S deployed in different planting spacings: 3x3 m; 3x1.5 m; and 3x1 m. The study was conducted in an experimental area of the company Aperam Bioenergia S/A, located in the county of Itamarandiba, MG. Thirty six trees were felled, this were cubed, delimbed and leafless, samples of leaves, twigs, bark and wood were collected to determine the dry mass and shoot carbon of the aerial part components. According to the results, it is concluded that the spacing which recorded the largest allocation of carbon per unit area was 3x1 m, and the most productive clones were hybrids *E. urophylla* and of tri-cross *E. urophylla* x (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Furthermore, the spacing 3x3 m showed the highest values of dry mass and carbon per tree. The clones used in this experiment were presented as potential alternative for projects of carbon sequestration and mitigation of greenhouse gases.

Keywords: Planting density; biomass; Carbon dioxide; Mitigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Abate e cubagem das árvores amostras.....	38
Figura 2 - Discos de madeira de diferentes alturas sem a casca	39
Figura 3 - Desgalhamento e desfolha das árvores amostra.....	41
Gráfico 1 - Uso do solo no Brasil.....	26
Gráfico 2 - Composição da área de árvores plantadas por segmento, 2014.....	27
Gráfico 3 - Distribuição percentual (%), entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.....	46
Gráfico 4 - Carbono fixado na parte aérea (KgC.arv^{-1}) nos clones em diferentes espaçamentos de plantio.....	52
Gráfico 5 - Massa de carbono/hectare fixado na parte aérea (MgC.ha^{-1}) nos clones em diferentes espaçamentos de plantio.....	54
Gráfico 6 - Acúmulo de biomassa e carbono em clones de eucalipto, cultivados em Itamarandiba.....	57
Gráfico 7 - Relação de carbono total/massa seca total dos componentes da parte aérea em clones de eucalipto, cultivados em Itamarandiba.....	58
Mapa 1 - Mapa da cidade de Itamarandiba- Minas Gerais.....	36
Quadro 1 - Caracterização dos materiais genéticos selecionados para o estudo.....	37
Quadro 2 - Espaçamento, espaço vital de crescimento e densidade de plantio/hectare dos três clones testados.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume e valores de transações históricas (2010-2014) e projetadas sobre vários cenários (2015-2019).....	21
Tabela 2 - Área de arvores plantadas por Estado e espécie.....	28
Tabela 3 - Massa seca por árvore (MS) e sua distribuição entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.....	45
Tabela 4 - Massa seca total/hectare (MST), em $Mg.ha^{-1}$, dos clones dos diferentes espaçamentos de plantio.....	47
Tabela 5 - Teores de carbono (%) na parte aérea nos clones em diferentes espaçamentos de plantio.....	50
Tabela 6 - Massa de carbono por hectare e sua distribuição percentual (%), entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.....	55
Tabela 7 - Massa de gás carbônico absorvido por hectare pelos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas	13
2.2- Políticas climáticas no âmbito internacional	15
2.3 Mercados de carbono e perspectivas futuras	18
2.4 Implicações do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil.....	21
2.5 Florestas plantadas: instrumento de mitigação dos GEEs	24
2.6 Carbono da biomassa florestal	28
2.7 Biomassa dos componentes da parte aérea	30
2.8 Métodos para quantificação da biomassa e carbono	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Local e implantação do experimento.....	35
3.2 Coleta e processamento do material	36
3.3 Avaliações do volume e densidade da casca e madeira	37
3.4 Massa seca da parte aérea	39
3.5- Análise elementar.....	41
3.6 Massa de carbono	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Massa seca por árvore (MS)	43
4.2 Massa seca total (MST)	46
4.3 Teor de carbono	48
4.4 Massa de carbono por árvore	50
4.5 Massa de carbono por hectare.....	51
4.6 Relação Massa seca/Carbono em Componentes da Biomassa da parte aérea	54
5 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas, constituintes de uma realidade cada vez mais preocupante, têm sido agravados pelo elevado aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) como o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorcarbonos (CFCs), decorrentes de ações antrópicas como o consumo crescente dos combustíveis fósseis, substituição das coberturas vegetais originais, atividades industriais e agropecuárias.

Considerado o principal gás causador do efeito estufa, as emissões de CO_2 são responsáveis por 55% do total das emissões mundiais de GEEs. Diante das consequências do aumento das concentrações atmosféricas desse gás, conhecer com detalhes os fatores que determinam as emissões e absorção do gás carbônico, é fato fundamental para a mitigação dos efeitos nocivos do aquecimento global e das mudanças climáticas.

Após a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) e do estabelecimento da Convenção do Clima (1992), foi objetivado a estabilização das concentrações dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera em níveis toleráveis. Os temas abordados nessa conferência são discutidos anualmente nas chamadas COP (Conferência das Partes).

Dentre os produtos das conferências, destaca-se o Protocolo de Quioto (CORTE e SANQUETTA, 2007), que orientou as emissões de gases de efeito-estufa, no período de 2008 a 2012, serem reduzidas, em média, 5,2% abaixo dos níveis de 1990, ano que os gases foram inventariados (RIBEIRO *et al.* 2010). O Protocolo de Quioto, com o objetivo de promover a redução das emissões, propôs os seguintes mecanismos: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta, e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MCT, 2001). Dos mecanismos propostos, apenas o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) permitiu o envolvimento de países em desenvolvimento, como o Brasil, possibilitando a geração e comercialização de créditos de carbono por essas nações.

No processo da fotossíntese, o gás carbônico é assimilado pelos seres fotossintetizantes gerando os precursores dos compostos orgânicos, e liberando o gás oxigênio, logo as florestas funcionam como sumidouros e reservatórios de carbono, dado que sequestram e fixam CO_2 da atmosfera (IPCC, 2007). As florestas jovens sequestram grande quantidade de carbono, dado o acelerado processo de fotossíntese. Uma floresta jovem, que esteja crescendo de forma acelerada, sequestra maiores volumes de carbono quando comparada à floresta madura, sendo que a floresta madura atua como um

reservatório, estocando carbono, mesmo que não esteja passando por um crescimento líquido (JACOVINE *et al.*, 2013).

O interesse nas florestas plantadas, como nos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, é evidente tendo em vista a elevada taxa de crescimento e de fixação de gás carbônico, além da alta produtividade. Estes gêneros contam com diversas espécies, cada uma com suas propriedades e inúmeras opções de uso. Assim, podem ser uma boa alternativa para projetos que se encaixem no rol do MDL aplicado as bases florestais, como é o caso da venda de créditos de carbono de florestas nativas ou plantadas.

Logo, o Brasil, dado sua grande área de florestas nativas e plantadas, poderá assumir uma posição privilegiada em relação aos países que buscam reverter o processo de mudança climática global, tanto do ponto de vista das reduções de emissões quanto do sequestro de carbono, uma vez que o país possui ótimas condições climáticas e tecnológicas para o crescimento de florestas de rápido crescimento capazes de absorver grande volume de CO₂ atmosférico (NOBRE, 2008).

Neves (2000) obteve teores médios de carbono de 52% em folhas, 48% para casca, 52% para galhos e 50,5% para madeira. Por sua vez, Dallagnol *et. al.* (2011), estima que os teores de carbono das folhas, galhos, madeira, casca e raiz de uma árvore de eucalipto, representam respectivamente, 48,17%, 42,06%, 42,61%, 39,46% e 42,20%. Muitos trabalhos apontam para uma faixa de carbono entre 40 a 50% da constituição das árvores, o que pode variar devido a vários fatores.

Para estimar a massa seca e quantificar o estoque de C orgânico em plantações florestais, há métodos que vão desde a análise destrutiva com o abate das árvores (métodos diretos), e não destrutiva (métodos indiretos) até a estimativa por processamento digital de imagens por satélite. Uma abordagem prática para estimar o estoque de C orgânico em plantações florestais é baseada no volume convertido em massa seca, para posterior obtenção do estoque, sendo o estoque de C orgânico dado por meio do produto da massa seca pelo teor de C de cada componente, para estimativas mais exatas. O método direto deve ser aplicado em unidades de áreas pequenas, tornando-se inviável em larga escala, uma vez que demanda tempo e recursos. Essa análise é aplicável em atividades de pesquisa e para geração de equações que calculem a massa seca (FAO, 2009).

Estudos em idades precoces são importantes para a correta seleção de genótipos mais adequados para determinados usos da biomassa florestal. Todavia, na literatura dados para quantificação da massa seca referentes a idades inferiores a 36 meses são

menos frequentes, uma vez que se busca estimar a massa seca preferencialmente da idade comercial das árvores.

Diante dessas constatações, observa-se a necessidade de trabalhos para a estimativa do estoque de carbono em árvores individuais e nos diversos componentes da floresta, bem como de estudos de sequestro de carbono. Os resultados desses estudos poderão subsidiar a seleção de materiais genéticos para a composição de projetos florestais voltados para a produção de massa seca em curta rotação e para o máximo sequestro de carbono.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou quantificar o carbono fixado na madeira e casca de clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* implantados em baixa, média e alta densidades de plantio, na empresa Aperam Bioenergia, no município de Itamarandiba-MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas

O efeito estufa, além de ser o fenômeno responsável pela manutenção da temperatura média do planeta, sendo de fundamental importância para manutenção da vida, também representa um dos fenômenos naturais responsáveis pelo equilíbrio climático da Terra (ALBUQUERQUE, 2012).

Segundo Molion (2008 a) a fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol. Ele emite radiação eletromagnética (energia) principalmente nos comprimentos de radiação de ondas curtas (ROC). O albedo planetário (percentual de ROC refletido de volta para o espaço exterior, atualmente cerca de 30%) é resultante da variação da cobertura e do tipo de nuvens, da concentração de aerossóis e partículas em suspensão no ar, e das características da cobertura de superfície, tais como gelo/neve (90% de reflexão), florestas (12%) e oceanos/lagos (10%). Portanto, o albedo planetário controla o fluxo de ROC que entra no sistema terra-atmosfera-oceanos.

O mesmo autor ainda explica que o fluxo de ROC que entra no planeta passa através da atmosfera terrestre e boa parte dele é absorvida pela superfície que se aquece. Porém, para as temperaturas dos corpos encontrados tanto na superfície como na atmosfera terrestre, os comprimentos de onda emitida estão numa faixa espectral denominada radiação de ondas longas (ROL). A ROL emitida pela superfície é absorvida por gases, pequenos constituintes, como o vapor d'água (H_2O), o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3), o óxido nitroso (N_2O) e compostos de clorofluorcarbono (CFCs). Esses, por sua vez, emitem ROL em todas as direções, inclusive em direção à superfície e ao espaço exterior. A absorção/emissão desses gases pelas várias camadas atmosféricas reduz a perda de ROL emitida pela superfície e que escaparia para o espaço exterior, e constitui o chamado efeito estufa.

O efeito estufa é responsável pelo aquecimento natural do planeta Terra e, sendo assim, é benéfico ao planeta: se não existisse, a temperatura média da Terra seria de $18^\circ C$ abaixo de zero (MOLION, 2008 b). Importante destacar que, o vapor d'água (H_2O) e o gás carbônico (CO_2), dois dos principais gases causadores do efeito estufa, influenciam a dinâmica do clima do planeta desde muito antes do surgimento da espécie humana (HOUGHTON, 2006).

Os principais GEEs listados no Protocolo de Quioto são o CO₂, o CH₄, o N₂O, os PFCs, os HFCs, SF₆ e NF₃, sendo a queima de combustíveis fósseis, a modificação e uso da terra, uso agrícola de fertilizantes químicos, as principais fontes desses gases (MOLION, 2008 b; LEMOS *et al.*, 2010; ALBUQUERQUE, 2012). A partir do contínuo desenvolvimento da sociedade e após a Revolução Industrial observa-se que a concentração desses GEEs na atmosfera tem aumentado, intensificando o fenômeno do efeito estufa (ALLEY *et al.*, 2007). A intensificação do efeito estufa leva ao desequilíbrio positivo do balanço energético da Terra, gerando um aquecimento atmosférico adicional, que resulta no aumento da temperatura média global do planeta e nas mudanças climáticas globais (ALBUQUERQUE, 2012).

Nesse sentido, duas definições de mudanças climáticas podem ser definidas: a primeira, do IPCC, diz que mudança climática é qualquer mudança no clima ao longo do tempo, por variabilidade natural ou consequência de atividade antrópica; e a segunda, do United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), fala que mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade antrópica que altere a composição atmosférica global e seja adicional à variabilidade climática natural, ambas observadas em um período de tempo comparável (NOBRE, 2008; ALBUQUERQUE, 2012).

Ao discutir sobre o impacto das mudanças climáticas, Toniolo e Carneiro (2010) destacam que os principais efeitos do aquecimento global, tidos como prejudiciais são: (1) o aumento do nível dos mares; (2) diminuição da disponibilidade de recursos hídricos; (3) impacto na agricultura, com consequente defasagem no fornecimento de alimentos; (4) impacto no padrão mundial de correntes oceânicas; (5) impacto em ecossistemas naturais; (6) problemas de saúde nos seres humanos.

O gás carbônico (CO₂) é o principal gás causador do efeito estufa (abaixo do vapor d'água), sendo que as principais causas de geração desse gás são a queima de combustíveis fósseis e a retirada progressiva das coberturas vegetais. Estima-se em até 70 % da participação desse gás nas emissões de GEEs (TONIOLO E CARNEIRO, 2010). Segundo dados do Earth System Research Laboratory - National Oceanic & Atmospheric Administration (ESRL - NOAA, 2015), em 1750 a concentração atmosférica desse gás era de 280 ppm, alcançando em 2015, a concentração de 399 ppm.

O consenso global influenciado pelas posições de grande parte da Comunidade científica, órgão governamentais e não governamentais e os sistemas de informação, trabalha a perspectiva de que o gás carbônico seria a principal causa do efeito estufa,

aquecimento global e das mudanças climática e que as emissões deste devem ser reduzidas para evitar seus efeitos nocivos.

Todavia, Toniolo e Carneiro (2010) relatam que em outra perspectiva, o CO₂ atmosférico, embora tenha aumentado de concentração desde o início da era industrial, não fica necessariamente acumulado na atmosfera. As taxas de acumulação podem ser divergentes, porém não se pode afirmar que o acúmulo de carbono na atmosfera seja causa exclusiva e direta do aquecimento crescente. Dessa forma o fenômeno do aquecimento perderia o caráter de urgência, por não constituir um evento catastrófico e pela questão do processo de fixação de carbono na Terra ser um processo dinâmico.

As posições conflitantes entre grupos de cientistas fazem parte de uma realidade ampla e por vezes confusa. Sabe-se que países desenvolvidos detentores de recurso e capital, poderiam utilizar o tema das questões climáticas para influenciar políticas de mercado, prejudicando países emergentes, ao dificultar o comércio de produtos, por exemplo. Por outro lado, as ideias e ações presentes na nova realidade de preocupação com o clima, sugerem uma mudança comportamental dos governos, empresas e pessoas, no sentido de produzir e conduzir processos mais eficientes e menos nocivos a natureza. Logo, o tema abre espaço para uma discussão que se estenderá indeterminadamente, mas que, sobretudo, pode gerar uma transformação sem precedentes no contexto social, econômico, ambiental e humano.

2.2 Políticas climáticas no âmbito internacional

É relatado por Sartório (2014) que a emissão crescente de gases de efeito estufa (GEEs) intensificou a elevação da temperatura na Terra, fato que vem despertando interesse e apreensão das autoridades e da população mundial, formando um consenso universal em relação ao aquecimento global. Isso tem levado os governos a adotarem políticas de adaptação a um novo cenário sustentável global, prezando por práticas que visem dentre outras coisas, a mitigação dos gases de efeito estufa e seus efeitos nocivos.

Segundo Brito (2013) com a criação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em 1988, as mudanças climáticas ganharam notoriedade, no âmbito internacional. O papel do IPCC é analisar, com base em informações científicas, técnicas e socioeconômicas que sejam relevantes para a compreensão do risco das mudanças climáticas causadas por atividades antrópicas, seus possíveis impactos e opções de adequação e mitigação. Os estudos do IPCC levaram os pesquisadores a concluir que o

aumento da temperatura gera consequências globais negativas. Em 1990, em seu primeiro relatório, o IPCC, concluiu que a concentração de CO₂ dobraria em 100 anos e a temperatura aumentaria de 1,5 °C a 4,5 °C (CHACON, 2000).

Segundo Moreira e Giometti (2008), após a criação do órgão, instaurou-se um contexto favorável para a realização da Assembleia Geral das Nações Unidas - Rio 92, da Convenção – Quadro Sobre Mudanças do Clima, sendo um grande marco para a questão climática e resposta aos apelos internacionais fortalecidos desde a década de 1980. As partes signatárias reconheceram a mudança climática global como preocupação comum da humanidade. O acordo foi um passo importante dado pela comunidade internacional para alcançar a estabilização das concentrações de GEEs. A convenção também definiu programas de ações diferenciadas para países em desenvolvimento e desenvolvidos (estes últimos devem assumir maior responsabilidade pela redução de gases de efeito estufa).

Durante a Rio 92, os governos reconheceram que a Convenção seria propulsora de ações mais enérgicas relacionadas às mudanças climáticas. Os dispositivos foram complementados posteriormente nas Conferências das Partes (COPs). Em 1997, foi realizada a conferência de maior repercussão mundial, a COP3, em Quioto, Japão, onde foi adotado um Protocolo como proposta de início do processo de estabilização das emissões e gases geradores da intensificação do efeito estufa (ASSIS, 2012). O Protocolo de Quioto definiu metas de redução de emissões para os países desenvolvidos responsáveis históricos pela mudança atual do clima. Este documento estabeleceu um acordo de redução dos GEE, por parte dos países desenvolvidos em 5,2%, de 2008 a 2012, em relação aos níveis observados em 1990. Para que isso ocorra, existem certas alternativas para auxiliá-los ao cumprimento de suas metas, chamados de mecanismos de flexibilização (BRITO, 2013).

É citado por Rezende e Gracco (2011) que apesar de ter sido adotado em 1997, o Protocolo somente entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, quando se cumpriu a exigência de ratificação de no mínimo cinquenta e cinco países desenvolvidos. O acordo também prevê participação dos países em desenvolvimento que podem direcionar investimentos em projetos que visem à redução das emissões dos gases. Todavia, até o momento, verificou-se a o Protocolo de Quioto não se mostrou efetivo, devido alguns fatores, como o fato dos Estados Unidos, principal emissor, embora tenha participado de sua formulação, não o adotar. Além disso, os países denominados como Bric's, não participaram das metas de redução de forma vinculativa. A partir de 2012, os países passaram a estabelecer metas próprias para redução dos gases de efeito estufa.

Os mecanismos de flexibilização estabelecidos pelo Protocolo de Quioto para auxiliar os países do Anexo-1 a atingirem as taxas de redução dos gases de efeito estufa, são: Comércio de Emissões (Emissions trade), Implementação conjunta (Joint implementation) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo- MDL (Clean Development Mechanism) (ASSIS, 2012).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o único a permitir que países em desenvolvimento, participem, cooperando com países desenvolvidos (MOREIRA e GIOMETTI, 2008; SARTÓRIO 2014). A redução das emissões pode ser alcançada por meio da implantação de projetos nos países em desenvolvimento que resultem na redução das emissões de GEEs ou no aumento da remoção de CO₂, mediante investimentos em tecnologias mais eficazes, troca de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento, entre outros (LOPES, 2002).

O Ministério da Ciência e Tecnologia (2016) propõem que os projetos de MDL devem promover o desenvolvimento sustentável e reduzir ou ajudar no controle dos seguintes gases de efeito estufa estabelecidos pelo protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e perfluorcarbonos (PFCs). Os projetos de MDL podem ser os mais variados e no Brasil se destacam a implantação de alguns tipos de projetos como: usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas, aterro sanitário, tratamento de dejetos, uso de biomassa para geração de energia entre outros.

São apresentadas por Lemos *et al* (2010) as atividades de reflorestamento e estabelecimento de florestas como uma das modalidades previstas como parte constituinte de projetos MDL. Em 1999, na COP-05, realizada em Berlim, foram tratadas pela primeira vez as questões relativas ao uso e à mudança do uso do solo e de florestas. Tal documento ficou conhecido como Land Use and Land Use Change and Forestry (LULUCF). As atividades LULUCF até hoje elegíveis no MDL são aquelas que promovem a remoção de gás carbônico da atmosfera, entre elas, florestamento e reflorestamento. Percebe-se, pelo exposto, que a criação de mercado de carbono e a possibilidade de emissão de créditos surgem, no início do século XXI, como fonte adicional de recursos financeiros para países em desenvolvimento com potencial de atividades de florestamento e reflorestamento.

É interessante destacar que as florestas exercem papel importante na mitigação dos efeitos dos gases de efeito estufa já que estas reduzem as concentrações de gás

carbônico ao fixá-lo por meio do processo da fotossíntese e estocá-lo por anos nos componentes das árvores e no solo até retornarem a atmosfera, contribuindo para o equilíbrio ambiental (CAMPOS, 2001; LITTON 2007; ASSIS, 2012).

2.3 Mercados de carbono e perspectivas futuras

Os chamados mercados de carbono configuram o sistema de comercialização de créditos de carbono. Tais créditos são consolidados na forma de certificados emitidos a partir da redução da emissão de GEEs, permitindo aos países que excederem seu teto de emissões compensarem isto pela aquisição de tais créditos, fornecidos – direta ou indiretamente – por aqueles que reduziram suas respectivas emissões ou implementaram projetos de mitigação ou sequestro de carbono (AQUINO NETO, 2010).

Segundo Khalili (2003) créditos de carbono são certificados que autorizam o direito de poluir. Por este princípio, as agências reguladoras de proteção ambiental emitem certificados autorizando emissões de gases de efeito estufa. Inicialmente, elegem-se indústrias que mais poluem no país, daí são estabelecidas metas para a redução de suas emissões. As empresas recebem bônus negociáveis na proporção de suas responsabilidades, cada bônus, cotado em dólares, equivale a uma tonelada de poluentes. Quem não cumpre as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, tem que comprar certificados das empresas mais bem sucedidas. O sistema tem a vantagem de permitir que cada empresa estabeleça seu próprio ritmo de adequação às leis ambientais. Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias. Logo, o mecanismo funciona de forma que os países que tiverem limites de emissões sobrando (que foram permitidas, mas não usadas) podem vender esse excesso para outras nações que estão emitindo acima dos limites. Assim, trata-se de um sistema de compensações.

A ideia da comercialização de créditos de carbono surge com uma nova fonte de renda entre as empresas que se preocupam com a redução, estabilização e ou eliminação de um determinado poluente. Este comércio faz com que as empresas tenham maior flexibilidade no cumprimento das metas de emissões estabelecidas (ROCHA, 2002).

O setor de reflorestamento busca reduzir as emissões totais de gases de efeito estufa através de compensações em atividades florestais que absorvam gás carbônico atmosférico durante o crescimento das árvores. As florestas adultas, nativas ou não, alocam e emitem carbono numa taxa semelhante, sendo denominadas de reservatórios de

GEEs e as florestas em crescimento, que alocam mais carbono do que emitem, são denominadas de sumidouros de GEEs. Países tropicais tem vantagem comparativa sobre países industrializados do hemisfério norte para implementação destes plantios de compensação, devido as melhores condições para o desenvolvimento de atividades florestais (ESTEVEZ, 2013).

Assim surge a criação de um novo serviço ambiental fornecido ao mercado por empresas de países com aptidão florestal para setores industriais de outros países, estruturando um mecanismo financeiro baseado na emissão de títulos transacionáveis de fixação de carbono. É necessário, porém, que os projetos de captação de carbono sejam devidamente registrados e sua taxa de captação calculada para emissão dos respectivos certificados. Se esta tendência de investimento continuar, pode-se esperar um enorme fluxo de novo capital para o setor florestal (COSTA, 1998 *apud* Ávila, 2009).

O comércio de carbono pode ser concretizado de duas formas: a) de forma organizada, por meio dos mercados de balcão, que se encontra em linha com o Protocolo de Quioto; ou b) por meio de negócios jurídicos particulares varejistas, também chamados de “voluntários”. No primeiro caso (aqueles comércios no contexto do Protocolo de Quioto), os créditos são contratados com o objetivo principal de facilitar o abatimento das metas de redução de emissões estabelecidas nesse tratado internacional. Já no segundo caso, as negociações visam o abatimento de emissões de carbono segundo critérios estabelecidos voluntariamente por empresas ou governos locais, fora do Protocolo (SALERNO, 2012). Exemplo disso é o caso de negociações de créditos de carbono e neutralizações de emissões de GEEs realizado por setores e grupos localizados em países que não são do Anexo I do Protocolo de Quioto e empresas localizadas em países não signatários do protocolo (ASSIS, 2012).

Já foram comercializadas 930 megatoneladas de CO₂ ao longo dos anos, o que totaliza US\$ 4,5 bilhões. Em 2014, os mercados de carbono florestal já negociaram 87 megatoneladas de CO₂, algo avaliado em US\$ 395 milhões, contra 76 megatoneladas de CO₂ de 2013, algo avaliado em US\$ 379 milhões. O preço médio das compensações entre os mercados primários de carbono florestal aumentaram de US\$ 3,8 por tonelada de CO₂ em 2008, para US\$ 5,5 por tonelada de CO₂ em 2010, caindo para US\$ 4,9 em 2013, e US\$ 3,8 em 2014. Têm-se constatado também que contratos para compensações de carbono florestais elevaram-se bastante, provavelmente devido às discussões políticas internacionais e um reconhecimento mundial do papel das florestas na regulação climática (STATE OF THE FOREST CARBON MARKETS, 2015). Estima-se que os

projetos nacionais terão uma participação de 10% no mercado mundial de carbono (CASARA, 2011).

Verifica-se que do ponto de vista econômico já se enxergam os lucros advindos do comércio de créditos de carbono e também suas projeções para o futuro, no sentido de demonstrar que esse mercado tende a se expandir, caso também se note que o instrumento é interessante sob os pontos de vista ambiental e social (CUNHA *et al.*, 2013). Segundo o relatório State of the Forest Carbon Markets (2015), as projeções mais otimistas apontam para montante de 712 megatoneladas de gás carbônico, a ser comercializado entre 2015 e 2019, o que representaria US\$ 4,1 bilhões (TAB. 1).

Tabela 1 - Volume e valores de transações históricas (2010-2014) e projetadas sobre vários cenários (2015-2019)

Períodos de comercialização				
Passado		Projetado		
2010-2014		2015-2019		
	Contabilizado	Projeções mais positivas	Performance real	Projeções negativas
Valor	US\$ 2,2 Bi	US\$ 4,1 Bi	US\$ 3,3 Bi	US\$ 2,0 Bi
Volume	498 MtCO ₂	712 MtCO ₂	566 MtCO ₂	349 MtCO ₂

Fonte: State of the Forest Carbon Markets, 2015, pág. 36.

Entretanto, Assis (2012) aponta que para obter os certificados com projetos de MDL, existe uma série de etapas que as empresas devem cumprir, desde a elaboração do Documento de Projeto à emissão da Redução Certificada de Emissões (RCEs), aprovada por uma comissão gerenciada pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia (2016) para que um projeto resulte em RCEs, as atividades de projeto e Programas de Atividades (PoAs) do MDL devem, necessariamente, passar pelas sete etapas do ciclo do projeto:

Etapa 1 - Desenvolvimento do Documento de Concepção do Projeto (DCP);
Responsável: Proponente de Projeto (PP);

Etapa 2 - Validação; Responsável: Entidade Operacional Designada (EOD);

Etapa 3 - Aprovação Nacional; Responsável: Autoridade Nacional Designada (AND);

Etapa 4 - Registro; Responsável: Comitê Executivo do MDL (EB);

Etapa 5 - Monitoramento; Responsável: Proponente de Projeto (PP);

Etapa 6 - Verificação; Responsável: Entidade Operacional Designada (EOD);

Etapa 7 - Emissão dos RCEs; Responsável: Conselho Executivo do MDL (EB).

Após completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade registrada torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL e está apta a gerar RCEs.

2.4 Implicações do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil

Segundo Cunha *et al.* (2013) o Brasil, como não é país pertencente ao Anexo I do Protocolo de Quioto, participa apenas da modalidade MDL do Protocolo de Quioto, negociando créditos de carbonos, não precisando cumprir metas de redução de emissões. O mecanismo de desenvolvimento limpo consiste na comercialização no mercado mundial de cada tonelada do gás carbônico que deixa de ser emitido nos países desenvolvidos ou retirado da atmosfera por projetos de absorção do carbono nos países em desenvolvimento, obtendo-se assim Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), onde cada RCE corresponde a redução de 1 tonelada do gás. A proposta auxilia os países desenvolvidos reduzirem emissões, promove o desenvolvimento sustentável, investimento e inovação tecnológica nos países em desenvolvimento.

O Brasil vem exercendo papel de destaque nas negociações internacionais relacionadas ao meio ambiente, fato evidente durante as negociações para a adoção do Protocolo de Quioto. Assim, o MDL é uma oportunidade onde o Brasil pode se desenvolver financeira e tecnologicamente, acessar novos mercados e negócios, e implantar projetos que utilizem fontes renováveis de energia, fortalecendo as parcerias com outros países no âmbito econômico, social e ambiental (SARTÓRIO, 2014).

O Ministério do Meio Ambiente (2016) relata que durante a COP 15 em Copenhague, em 2009, o Brasil estabeleceu uma Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). O país anunciou metas de compromisso voluntário de redução entre 36,1% a 38,9% de suas emissões de gases de efeito estufa projetadas até 2020. Ainda, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima) foi criado pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010. O Fundo é um instrumento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009. Ele tem por finalidade financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem à mitigação (ou seja, à redução dos impactos) da mudança do clima e à adaptação a seus efeitos.

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (2016), no Brasil, a responsável pela avaliação dos projetos de MDL é a Comissão Interministerial de Mudanças Globais de Clima (CIMGC), a qual considera os seguintes aspectos na avaliação de projetos:

participação voluntária de cada parte envolvida, Documento de Concepção de Projeto (DCP), Relatório de Validação e a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável do país. Em relação ao último item, contribuição ao desenvolvimento sustentável, cinco critérios são avaliados: distribuição de renda, sustentabilidade ambiental local, desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de emprego, capacitação e desenvolvimento tecnológico, e integração regional e articulação com outros setores.

Os projetos de MDL podem ser divididos em duas categorias:

1. Atividade de projeto é uma medida, operação ou ação que tenha por objetivo reduzir emissões de GEE.

2. Programa de Atividades, é uma ação voluntária, coordenada por uma entidade pública ou privada, que implementa políticas/medidas ou objetivos estabelecidos. Ele incorpora, dentro de um só programa, um número ilimitado de atividades programáticas com as mesmas características – essas atividades são denominadas CPAs. Ou seja, o PoA constitui um programa (um guarda-chuva de atividades de projeto) que engloba diversas CPAs semelhantes (MCT, 2016).

Quanto ao status do MDL no mundo, 7.690 atividades de projeto encontravam-se registradas na UNFCCC até 31 de janeiro de 2016. O Brasil ocupava o 3º lugar com 339 atividades de projeto registradas (4,4%), sendo que em primeiro lugar encontrava-se a China com 3.764 (48,9%) e, em segundo, a Índia com 1.598, representando 20,8% dos projetos no mundo (MCT, 2016).

O Ministério da Ciência e Tecnologia (2016) ainda cita que no Brasil, no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa por tipo de gás, em termos de número de atividades de projeto, o gás carbônico (CO_2) é atualmente o mais relevante com 210 atividades de projeto, seguido pelo metano (CH_4) com 122 e pelo óxido nitroso (N_2O) com 5 atividades de projeto. Quanto ao número de atividades de projeto brasileiras, por tipo de projeto, registradas até 31 de janeiro de 2016, os de Energia Hidrelétrica lideravam com 27,7%, seguidos pelos de Biogás com 18,6%, Usinas Eólicas 16,5%, Gás de Aterro 14,8% e Biomassa Energética 12,1%, sendo que os projetos de florestamento e reflorestamento contribuíam com apenas 0,6%. Os tipos de projeto com a maior estimativa de redução de emissão de CO_2 equivalente foram os de Energia Hidrelétrica, de Gás de Aterro, de Decomposição de N_2O e de Usina Eólica, que totalizavam 83,8 % do total de emissões de CO_2 equivalente a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos. Em relação a distribuição do número de atividades de projeto do

MDL no Brasil, por estado da Federação, o líder era São Paulo (75), seguido por Minas Gerais (58) e Rio Grande do Sul (43), revelando uma predominância de projetos no Centro-Sul do País (Figuras 9 e 10) até 31 de janeiro de 2016.

O Brasil possui grande território ocupado por florestas plantadas e nativas. Dessa forma, as atividades silvicultoras e de restauração florestal também podem ser beneficiadas com os mecanismos geradores de créditos de carbono (SALERNO, 2012). Para discernir as diferentes atividades florestais, é importante definir os seguintes conceitos do IPCC:

Florestamento é a conversão induzida diretamente pelo homem, de uma área que não foi florestada por período de pelo menos 50 anos para uma área florestada, através de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo Homem. **Reflorestamento** é a conversão induzida diretamente pelo homem, de área não florestada para área florestada através de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo homem, em área que era florestada, mas que foi convertida para não florestada. **Floresta** consiste em área mínima de 0,05 - 1,0 hectares, com cobertura de copa (ou nível de estoque equivalente) de mais de 10-30 %, com árvores com potencial de alcançar altura mínima de 2-5 metros na maturidade, *in situ*. Ela pode consistir tanto de formações florestais fechadas quanto florestas abertas. (LOPES, 2002).

As fases de implementação de projetos de florestamento e reflorestamento relacionados às atividades de MDL são similares às das atividades de outros projetos de redução de emissões (validação, aprovação, verificação e monitoramento). Entretanto, há particularidades que merecem destaque (LEMOS, 2010). Segundo Frondizi (2009), há diferenças quanto ao tipo de reduções certificadas. Podem-se encontrar RCEs temporários (designados por 20 anos, renováveis por mais duas vezes, totalizando 60 anos) ou RCEs permanentes (30 anos).

É relatado por Ávila (2009) que no campo das atividades de florestamento e reflorestamento no Brasil, a empresa Plantar S/A, implantou em 2001 o Projeto Plantar, o qual tinha o objetivo de reduzir as emissões de GEEs pelo estabelecimento de plantios sustentáveis de florestas de eucalipto para suprir o uso de carvão vegetal na produção de ferro primário, além da redução das emissões de metano no processo de transformação da madeira em carvão vegetal. Este foi o primeiro projeto brasileiro de mitigação de gases de efeito estufa aprovado pelo Banco Mundial, devido ao grande potencial de replicação no setor siderúrgico.

Pode-se afirmar que o Brasil explora pouco as oportunidades com o MDL, sendo que a maior parte das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil está no setor energético. Os projetos ainda se concentram na redução de emissões de carbono (e não metano ou óxido nitroso, outros importantes gases na matriz nacional de emissões). Os projetos estão concentrados em setores em que o país, naturalmente, já tem vantagens comparativas e a pequena porcentagem de projetos de reflorestamento está atrelada à dificuldade de quantificar carbono fixado pelas árvores em crescimento e de se adequar ao critério de adicionalidade (LEMOS *et al.*, 2010).

2.5 Florestas plantadas: instrumento de mitigação dos GEEs

As florestas em estágio clímax são dadas como reservatórios de carbono, pois fixam e emitem carbono por meio da decomposição da matéria orgânica depositada, raízes mortas e pela respiração da planta. Florestas em crescimento, que alocam mais carbono do que emitem, são consideradas drenos ou sumidouros (SCARPINELLA, 2002; GATTO, 2005; LOUREIRO, 2014). Logo, plantações florestais com espécies de rápido crescimento são mais eficientes que florestas naturais em termos de fixação de carbono atmosférico, pois, em condições tropicais, apresentam produção contínua de matéria seca. Em condições ideais ao desenvolvimento das plantas, a taxa fotossintética é cerca de trinta vezes maior que a taxa respiratória (HALL e RAO, 1980; GATTO 2005). Plantações florestais com espécies de rápido crescimento, melhoradas geneticamente, como o eucalipto, por exemplo, quando bem estabelecidas, fixam entre 100 e 400 t/ha de gás carbônico durante a fase de crescimento. (ECOAR, 2003; GATTO, 2005)

A introdução do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, ocorreu no início do século XIX. Até o início do século XX, o eucalipto foi plantado com a finalidade de ornamentação ou para servir de quebra-ventos, pelo seu evidente desenvolvimento. Com o passar do tempo, a madeira de eucalipto tem-se prestado a uma série de finalidades, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas naturais (PEREIRA *et al.*, 2000).

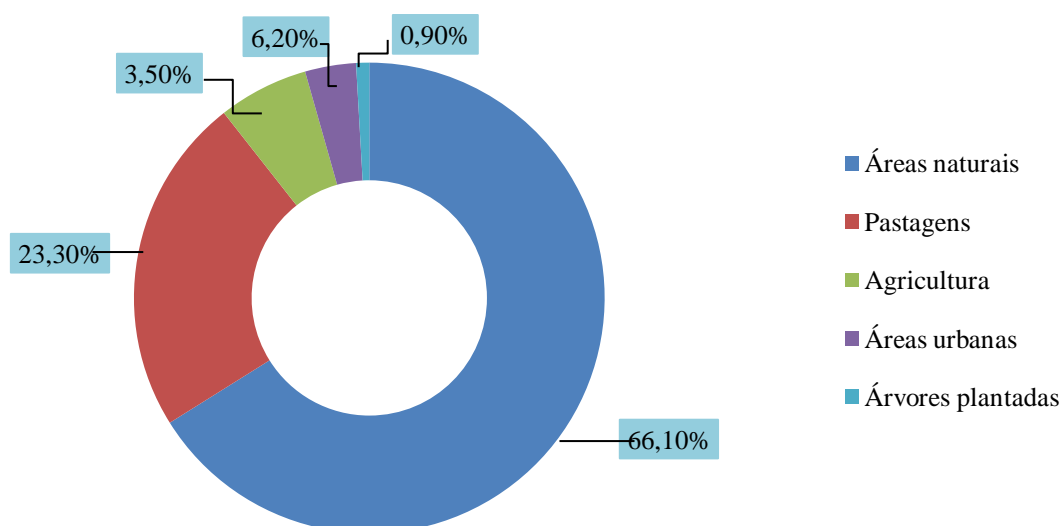
Em meados da década de 1970, com as políticas de incentivos fiscais para o reflorestamento, os povoamentos de *Eucalyptus* e *Pinus* se tornaram uma alternativa viável para o suprimento da demanda por matéria prima e derivados florestais, pois concomitantemente auxiliavam na redução da pressão do desmatamento provocado em florestas nativas remanescentes. Atualmente, o setor de florestas plantadas no Brasil é considerado um dos mais competitivos a nível mundial. Observa-se nos últimos anos um

crescente reconhecimento da sociedade por sua contribuição ao desenvolvimento econômico, social e ambiental do país (SILVA, 2013).

O gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. No entanto, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial. Mas muitas ações têm sido tomadas no sentido de melhorar os clones de *Eucalyptus*. Duas estratégias podem ser empregadas quando o objetivo é produzir madeira de alta qualidade. A primeira, mais utilizada até hoje, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas. A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade (PEREIRA *et al.*, 2000).

Segundo Relatório da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015) o país possui área ocupada com florestas plantadas de 7,74 milhões de hectares, o que corresponde a 0,9% do território nacional (GRAF. 1), o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país, os demais 9% vem de florestas nativas legalmente manejadas (IBÁ, 2015).

Gráfico 1: Uso do solo no Brasil

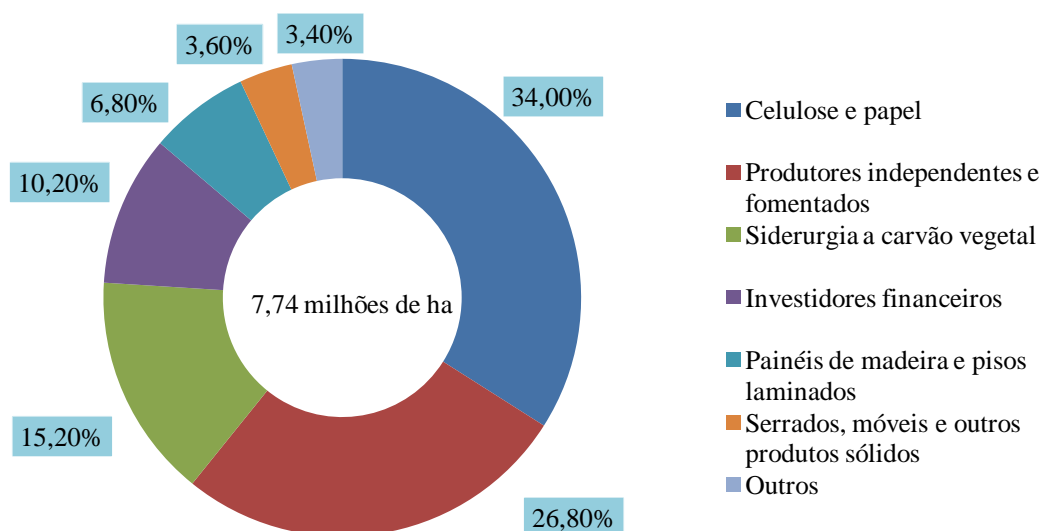


Fonte: Adaptado do Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (2015).

Os principais produtos da atividade florestal são: celulose, diversos tipos de papel, painéis de madeira reconstituída, pisos laminados, painéis compensados, moveis, demais produtos sólidos de madeira, carvão vegetal e outras biomassas para fins energéticos

(GRAF. 2). Além disso, vem sendo intensificado os investimentos para o desenvolvimento de bioprodutos inovadores, para atender a demanda futura da população por alimento, água, terra e energia.

Gráfico 2: Composição da área de árvores plantadas por segmento (2014).



Fonte: Adaptado do Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (2015).

Em 2012, a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6.664.812 há, sendo 76,6% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% aos plantios de *Pinus*. Em 2014, a área de arvores plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares, aumento de 1,8% em relação a 2013. Os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares da área de arvores plantadas no país, o que representa 71,9% do total, e estão localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%) (TAB. 2). Os plantios de *Pinus* ocupam 1,59 milhão de hectares e concentram-se no Paraná (42,4%) e em Santa Catarina (34,1%). Acácia, teca, seringueira e parica estão entre as outras espécies plantadas no país (IBÁ, 2015).

Tabela 2: Área de arvores plantadas por Estado e espécie

Área plantada com árvores (ha)				
Estado	Eucalipto	Pinus	Outras	Total
MG	1.400.232	39.674	5.313	1.445.219
SP	976.186	123.996	90.147	1.190.329

PR	224.089	673.769	16.255	914.113
MS	803.699	7.135	23.000	833.834
BA	630.808	6.499	34.000	671.307
SC	112.944	541.162	6.645	660.751
RS	309.125	184.585	103.592	597.302
MT	187.090	–	113.249	300.339
ES	228.781	2.660	15.000	246.441
MA	211.334	–	–	211.334
PA	125.110	–	72.368	197.478
TO	115.564	430	45.876	161.870
GO	124.297	9.087	5.000	138.384
AP	60.025	–	1.936	61.961
PI	31.212	–	–	31.212
Outras	18.157	–	56.140	74.297
Total	5.558.653	1.588.997	588.521	7.736.171

Fonte: Adaptado do Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores (2015).

Dentre os vários benefícios ambientais proporcionados pelas florestas plantadas nacionais, destacam-se: 1,69 bilhão de toneladas de CO₂ da atmosfera, fixados pelos 7,74 milhões de hectares de árvores plantadas; 5,4 milhões de hectares de áreas naturais na forma de Áreas de Preservação Permanente (APPs), de Reserva Legal (RL) e de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPNs), que representam um estoque médio de 2,40 bilhões de toneladas de CO₂; 63% dos plantios certificados, garantindo a sustentabilidade e as boas práticas do setor; produção em 2014, a partir de energia limpa, de 64,3 milhões de gigajoules, o que representa 67% do consumo energético do setor. Dentre os benefícios sociais, destacam-se: os investimentos em programas sociais que totalizam R\$ 177 milhões, distribuídos em programas de saúde, cultura, qualidade de vida e educação; as iniciativas que beneficiam cerca de dois milhões de pessoas, consolidando o setor brasileiro de base florestal como indutor de desenvolvimento econômico e social do país; fixação da população no meio rural e geração de renda para as comunidades do entorno das unidades de negócio das empresas do setor; cerca de 18 mil famílias beneficiadas por programas de fomento (IBÁ 2015).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam grande poder de adaptação ao meio, crescimento rápido, potencial de usos múltiplos e versatilidade quanto ao uso, facilitando desta forma o seu cultivo e a expansão florestal. Assim, se destacam em projetos de MDL por apresentarem elevada eficiência fotossintética, e, conseqüentemente, no sequestro de carbono (PÉREZ CRUZADO *et al.*, 2011).

Surge então a possibilidade do uso das florestas como mitigador de problemas climáticos, diante disso, a definição da espécie a ser plantada é o primeiro passo de um projeto de reflorestamento, levando-se em consideração o objetivo da produção (uso da madeira) e as condições edafoclimáticas da região (ANGELI *et al.*, 2005).

É essencial o desenvolvimento ou uso de metodologias que levem a estimativa da quantidade de carbono em diferentes componentes das árvores e, conseqüentemente, em diferentes compartimentos da floresta, considerando a idade das árvores uma variável que potencialmente afeta o estoque de carbono no vegetal. Considerando que a escolha do material genético deve relevar todas as condições ambientais locais, assim como estudos já realizados na região, para o alcance do melhor desenvolvimento e maior produtividade (ANGELI *et al.*, 2005; ASSIS 2012).

2.6 Carbono da biomassa florestal

De acordo com Vieira *et al.* (2015) o carbono é considerado um dos elementos químicos mais abundantes, e pode ser encontrado tanto na sua forma orgânica, como na forma inorgânica. O autor ainda cita que, o carbono no planeta Terra circula através dos oceanos, da atmosfera, da terra e dos organismos, constituindo um grande ciclo biogeoquímico, que pode ser dividido em ciclo geológico e ciclo biológico.

As florestas estão presentes no ciclo biológico do carbono pela fotossíntese, respiração e decomposição e desempenham papel importante para o equilíbrio do estoque de carbono global. Estes processos, juntos a combustão são os principais meios de troca do carbono entre a atmosfera e entre os sistemas ecológicos terrestres (HOEN e SOLBERG, 1994).

Segundo Gatto (2005) as espécies florestais se distinguem das demais espécies vegetais por possuírem a capacidade de fixar carbono por décadas e armazená-lo na forma de madeira. Sendo que, a quantidade de carbono fixado e o seu tempo de residência no ecossistema dependem, entre outros fatores, da idade da planta, do componente onde o carbono é fixado e do uso destinado à madeira.

O mesmo autor relata que a fixação do carbono fixado durante o ciclo de crescimento de uma plantação florestal é verificada pelo aumento em biomassa, principalmente de produtos madeireiros (tronco, galhos e raízes grossas) e, também, de produtos não-madeireiros (folhas e raízes finas). O tempo necessário para o carbono retornar à atmosfera pode ser curto, para alguns componentes da árvore (folhas, galhos e

raízes finas), ou longo, dependendo do destino final dado à madeira. Sendo que mais de 75 % do C total armazenado retorna à atmosfera num período de tempo relativamente curto.

Uma floresta jovem estoca menos carbono quando comparada a uma floresta madura, mas sequestra mais carbono da atmosfera ao longo do tempo. Já uma floresta madura, apesar de não capturar “novo carbono”, continua a estocar grandes volumes de carbono em sua biomassa ao longo do tempo (JACOVINE *et al.*, 2013). A idade na quais as árvores atingem a maturidade, ou estabilização, é variável de espécie para espécie (se de crescimento rápido ou lento) e com o tipo de formação florestal, homogênea ou mista (GATTO, 2005).

O carbono estocado na biomassa viva acima do solo das árvores é tipicamente o maior reservatório florestal, e o mais diretamente impactado pelo desmatamento e degradação (GIBBS *et al.*, 2007), sendo por isso mais frequentemente mensurado, em comparação ao estoque presente na biomassa herbácea ou arbustiva.

De acordo com Pereira *et al.* (1997), as florestas acumulam biomassa por meio da fotossíntese, na elaboração de fotoassimilados, a variação decorrente de fatores ambientais e de fatores inerentes à própria planta faz com que o acúmulo seja diferente em cada local onde ela é medida. Os mesmos autores relatam que o acúmulo de biomassa é influenciado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração, como, por exemplo, luz, temperatura, concentração de CO₂ do ar, umidade e fertilidade do solo, fungicidas, inseticidas e doenças, além de fatores internos, que incluem a idade das folhas, a sua estrutura e disposição, a distribuição e o comportamento dos estômatos, o teor de clorofila e a acumulação de hidratos de carbono. CALDEIRA *et al.* (2000) cita que durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Sendo que, posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente.

A quantidade de carbono estocado no sistema solo e planta correspondem dois terços do carbono total estocado na superfície terrestre (YU, 2004). Em escala global, as florestas poderiam captar cerca de 12 a 15% do que é emitido de carbono por combustíveis fósseis, nos próximos 50 anos (BROWN *et al.*, 2001). Esta hipótese seria válida caso fosse estabelecida em 700 milhões de hectares de florestas no mundo novas práticas florestais. A região dos trópicos responderia pelo maior potencial de captação do carbono, aproximadamente 80%, por meio de reflorestamentos e florestamentos (16,4

gigatoneladas de carbono), sistemas agroflorestais (6,3 gigatoneladas de carbono), regeneração florestal (cerca de 20 gigatoneladas de carbono) e ações que impeçam o desmatamento (16 gigatoneladas de carbono) (RESENDE *et al.*, 2001; MATHEUS *et al.*, 2012).

2.7 Biomassa dos componentes da parte aérea

O termo biomassa pode ser definido como a quantidade total de matéria orgânica, viva ou morta, acima e abaixo do solo, expressa em toneladas de massa seca por unidade de área, como o hectare (RAVINDRANATH e OSTWALD, 2008). O termo biomassa florestal significa toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, vem sendo empregado o termo fitomassa (SANQUETTA, 2002). De acordo com Odum (1986), a biomassa pode ser expressa em termos de peso seco, peso úmido e peso em carbono. Sua quantificação pode ser útil na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de energia solar, entre outros (CAMPOS, 1991; PEREIRA *et al.*, 1997).

A biomassa aérea é constituída pelo fuste, galhos e folhas, geralmente, sendo o fuste o compartimento que possui mais da metade da biomassa total. Em relação à produção de biomassa de plantios de eucalipto, o fechamento do dossel tende a diminuir a produção de biomassa (GATTO, 2005; LOUREIRO 2014). Sabe-se que a produção de biomassa é afetada pela densidade de plantio, idade do povoamento (LEITE *et al.*, 1997; GATTO, 2005; ROCHA, 2011), capacidade produtiva do sítio, tratos silviculturais (BRANDSTOCK, 1981; SARTÓRIO, 2014), espécies e clones utilizados (NEVES *et al.*, 2013).

Quanto ao particionamento dos componentes da parte aérea das árvores, observam-se proporções mais elevadas para o tronco conforme a árvore atinge a maturidade. Alves (2011) relata que o particionamento médio dos componentes da parte aérea de clones de *Eucalyptus* sp. aos quatro anos e meio de idade é: Fuste-70%, galhos 13%, casca 9% e folhas 8%. Por sua vez, Loureiro (2014) estudando clones de *Eucalyptus* sp., aos 18 meses de idades, encontrou valores para folhas, galhos e tronco de 29,2%, 30,2% e 40,6%, respectivamente. Assis (2012), avaliando clones de *Eucalyptus* sp. em diferentes idades, verificou que a fixação proporcional de biomassa obtida, respectivamente, para folha, raiz e tronco, foi de 40,26; 21,69 e 25,55% para a idade de

zero (muda), e de 16,62; 36,74 e 34,14% para a idade de 12 meses, mostrando que o percentual de tronco se eleva com a maturidade da planta.

Além da quantificação da biomassa ser essencial para avaliação de parâmetros econômicos, energéticos, ambientais, entre outros, é através dessa avaliação que se encontra a quantidade de carbono por material genético avaliado. Todavia, a dificuldade em avaliar os componentes das árvores, tornam as estimativas dos estoques de carbono imprecisas (GATTO 2005; LOUREIRO 2014).

No relatório do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (2001), o total de carbono nos componentes de uma árvore de eucalipto, em média, são assim considerados : tronco - 65%, copa - 13% e raízes 22%. Segundo Assis (2012), o carbono na raiz, tronco e folha variaram, aos 12 meses, de 43,44% a 45,80%, 44,40 a 45,15% e 45,89 a 48,34%, respectivamente. Neves (2000) obtiveram teores médios de carbono de 52,0% em folhas, 48,0% para casca, 52,0% para galhos, 50,5% para o lenho e 51,0% para raiz grossa em povoamentos clonais de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*). Dallagnol *et al.* (2011), ao analisarem os teores de carbono em *Eucalyptus grandis* W.Hill, nos compartimentos folhas, casca, galhos, madeira e raízes, encontraram 52,29%, 39,46%, 42,06%, 42,61% e 42,20%, respectivamente. Alves (2011) registrou para fuste, folha, casca e galho, percentuais de 46,97%; 38,95%; 35,64% e 34,74%, respectivamente.

Loureiro (2014) relata que o estoque de carbono é maior em altas densidades de plantio em função do número de árvores, todavia em baixa densidade de plantio há maior biomassa e carbono por árvore. Sabe-se que o carbono presente no fuste de árvores jovens é maior que os outros compartimentos (38,6%). Todavia Assis (2012), também quantifica a biomassa das raízes, e relata que a as raízes produzem mais carbono em árvores jovens, em relação aos outros componentes.

2.8 Métodos para quantificação da biomassa e carbono

Para a estimativa do carbono fixado nos diferentes compartimentos dos ecossistemas florestais, é preciso realizar a quantificação da biomassa dos componentes arbóreos, e avaliar o teor de carbono de cada componente, sendo o carbono total por árvore a soma das quantidades individuais do carbono fixado em cada componente da planta. Os estudos de biomassa florestal são feitos com objetivos diversos, dentre os quais se destacam a quantificação da ciclagem de nutrientes, a quantificação para fins

energéticos e como base de informação para estudos de sequestro de carbono (SILVEIRA *et al.* 2007).

Métodos diretos ou indiretos devem ser escolhidos para a estimativa da biomassa. Os métodos diretos consistem na pesagem de toda biomassa, normalmente por processo destrutivo. Esta abordagem é inviável de se executar em áreas extensas, devido ao tempo e custo de execução. Por outro lado, os métodos indiretos consistem no emprego modelos alométricos, que relacionam a variável biomassa ou carbono, variáveis de difícil obtenção, com variáveis comumente medidas em campo nos trabalhos de inventário florestal (SANQUETTA *et al.*, 2014; SCHIKOWSKI *et al.*, 2013; FIORENTIN *et al.* 2015). Para o método indireto, observa-se nos últimos anos um avanço crescente do uso do sensoriamento remoto por meio do processamento digital de imagens de satélite, como uma alternativa versátil e eficiente para os estudos da quantificação da biomassa e do estoque de carbono florestal (SILVA, 2013).

Para Higuchi e Carvalho Jr. (1994), determinação da biomassa significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse. O autor ainda relata que a estimativa de biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (GIS).

Segundo Silveira (2007), os métodos diretos de amostragem de biomassa podem ser enquadrados em duas grandes categorias: método da árvore individual e método da parcela. Somogyi *et al.* (2006) afirma que avaliações de biomassa de forma indireta podem ser feitas por dois métodos quando se trabalha em campo: uma utiliza dados de volume de árvores ou talhões e multiplica-os por um fator ou fatores apropriados, denominados fatores de biomassa (BF), que convertem (expandem ou reduzem) as estimativas de volume para estimativas de biomassa, e a outra forma de se estimar biomassa de forma indireta é realizando o ajuste de equações pelo uso de técnicas de regressão.

A Food and Agriculture Organization, FAO (2009), sugere que para a quantificação de biomassa de uma floresta, e consequentemente do estoque de carbono armazenado, os métodos de determinação são divididos em (i) destrutivo *in situ*; (ii) não destrutivos *in situ*; (iii) inferência a partir de sensoriamento remoto; (iv) uso de modelos.

Quanto aos procedimentos da avaliação da estimativa da biomassa pelo método direto, o método da árvore individual é feito mediante a seleção de uma árvore média estabelecida por um inventário florestal. Após a definição dessa árvore, procede-se a derrubada e a determinação de biomassa de um número de indivíduos, que se constituem a amostra (PARDÉ, 1980; SANQUETTA, 2002; SILVEIRA, 2007). Segundo Higuchi e Carvalho Jr. (1994), em campo são obtidos separadamente os pesos verdes para o tronco, galhos, folhas e serragens produzidas pela divisão do tronco e galhos. Em seguida, devem-se retirar discos de aproximadamente 3 cm de espessura do tronco e dos galhos em alturas relativas ao comprimento total e um disco na altura do DAP. Todas as amostras devem ser colocadas em estufa até estabilizarem-se em peso, para a obtenção do peso seco e determinação do teor de umidade.

O método da parcela descrito por Silveira (2007) é feito cortando-se e pesando-se toda a biomassa de uma área pré-definida, podendo ser implementado, pelo procedimento denominado corte total (*harvest method*), que consiste em se determinar toda a biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações (inclusive as raízes) passo a passo, ou por amostragem em múltiplos estágios (*multi-stage sampling*), no qual cortam-se todos os indivíduos contidos na parcela, pesando-se todos os caules. Para as demais porções, são feitas determinações apenas para alguns indivíduos, estabelecendo-se uma relação de quantidades entre os dois grupos.

Para a Food and Agriculture, FAO (2009) o método destrutivo *in situ* consiste na coleta do material vegetal, separação em seus diferentes compartimentos e quantificação deste na base seca. Medições de biomassa podem ser realizadas com base em cada árvore ou com base em parcelas determinadas. No primeiro caso a biomassa de cada indivíduo é medida, ao passo que no segundo caso a biomassa total de uma área ou amostra específica é medida. É o método mais direto e preciso para a quantificação de biomassa dentro de uma unidade de área pequena, consumindo tempo e recursos, sendo inviável em larga escala. Este método é muitas vezes utilizado para fins específicos de pesquisa e para o desenvolvimento de equações de biomassa a serem aplicadas para estimar a biomassa em larga escala.

Para estimativa do estoque de carbono, é realizada a análise elementar, encontrado o percentual de C por componente da planta, e este é multiplicado pela quantidade de massa seca do componente. Segundo a Central Analítica do Instituto de Química da USP (2016) a análise Elementar é uma técnica para determinação das porcentagens de carbono, hidrogênio e nitrogênio em uma amostra. Seu funcionamento é baseado no método de Pregl-Dumas, em que as amostras são sujeitas à combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, e os gases resultantes dessa combustão são quantificados em um detector de condutividade térmica. Suas principais aplicações envolvem o estudo de amostras líquidas e sólidas, resultantes de sínteses orgânicas e formação de complexos, síntese de polímeros, amostras geológicas, ambientais e derivados de petróleo, entre outras.

O estoque de carbono total é dado pela soma das quantidades de carbono alocadas em cada componente da planta. O IPCC (2011) recomenda, quando não se tem a informação da quantidade de carbono para a espécie de interesse ou não se realiza a análise elementar do material em estudo, um fator de conversão referencial de 0,5 para o teor de carbono pode ser utilizado, ou seja, considera-se que 50% da biomassa constitui-se de carbono. Já o IPCC (2006), faz menção de 47% de carbono na biomassa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e implantação do experimento

O experimento foi implantado em propriedade da empresa Aperam Bioenergia localizada no município de Itamarandiba, Minas Gerais (MAPA 1). A região experimental localiza-se nas coordenadas geográficas a 17°44'22" S de latitude e 42°54'12" W de longitude e altitude de 900 m. O clima da região é definido como tropical de altitude, com duas estações bem definidas. A temperatura média da região é de 21,2°C, e a umidade relativa do ar média anual varia entre 60 a 70%. O índice pluviométrico médio anual é de 1.132 mm, e no período de avaliação esse índice foi de 687,5 mm. O solo da região é classificado como argiloso amarelo típico textura arenosa/média fase relevo plano, e a tipologia florestal predominante é o cerrado.

Mapa 1- Mapa da cidade de Itamarandiba- Minas Gerais.



Fonte: Google Imagens.

O experimento foi implantado no mês de setembro de 2014 utilizando três clones: um híbrido espontâneo de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, um híbrido tri-cross de *E. urophylla* x (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), e um híbrido de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S.Johnson x *Corymbia torelliana* (F. Muell.) K.D. Hill & L.A.S (QUADRO 1).

Quadro 1 – Caracterização dos materiais genéticos selecionados para o estudo.

Clone	Cruzamento
1	<i>Eucalyptus urophylla</i>
2	<i>Eucalyptus urophylla</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>)
3	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>

Fonte: Autor.

Os clones foram implantados em três diferentes espaçamentos de plantio: 3x3 m; 3x1,5 m; e 3x1 m (QUADRO 2).

Quadro 2 – Espaçamento, espaço vital de crescimento e densidade de plantio/hectare dos três clones testados.

Espaçamento (m x m)	Espaço vital de crescimento (m ²)	Densidade de plantas/ha
3x3	9	1111
3x1,5	4,5	2222
3x1	3	3333

Fonte: Autor.

3.2 Coleta e processamento do material

Aos 12 meses de idade do experimento, selecionaram-se quatro árvores de diâmetro médio para cada clone, nos três diferentes espaçamentos de plantio, totalizando 36 amostras, que foram medidas quanto à altura total (Ht) e o diâmetro a altura do peito (DAP).

A escolha das árvores sucedeu um levantamento dendrométrico, onde o DAP médio foi estabelecido, sendo escolhidas árvores que apresentavam a árvore média. Além disso, foram escolhidas árvores do interior da parcela, para evitar o efeito de borda.

As árvores foram abatidas, medidas e cubadas (FIG. 1). Em vista do tempo, recursos e pessoal disponíveis, de cada clone e espaçamento foi escolhida somente uma árvore a ser desfolhada e desgalhada, totalizando nove árvores. Os pesos úmidos totais de galhos e folhas foram avaliados na empresa Aperam Bioenergia S/A.

Figura 1- Abate e cubagem das árvores amostras.



Fonte: Autor.

3.3 Avaliações do volume e densidade da casca e madeira

As árvores amostra foram cubadas rigorosamente utilizando-se o método de Smalian, considerando os diâmetros com casca. Após a cubagem foram retirados discos, com as cascas, de 2,5 cm de espessura a 0%, 25%, 50%, 75% da altura total de cada árvore abatida (FIG. 2)., além de um disco extra a 1,30 m de altura do solo (DAP). As cascas dos discos foram medidas com auxílio de paquímetro para a determinação do percentual de casca.

Os discos de madeira com as cascas referentes às alturas amostradas foram identificados, e destinados à determinação da densidade básica da casca. As cascas presas nos discos de madeira foram retiradas com estilete e colocadas em sacos plásticos fechados e devidamente identificados com os tratamentos, para prevenir a perda de umidade. Os procedimentos utilizados para a análise foram de acordo com o método de imersão em água, descrito pela NBR 11941 (2003).

Figura 2 - Discos de madeira de diferentes alturas sem a casca.



Fonte: Autor.

A densidade básica (ρ_b) foi considerada como sendo a média aritmética dos pontos de amostragem longitudinal no tronco das árvores, sem considerar a posição do DAP. Para o cálculo da densidade básica da madeira foi utilizada a expressão (1):

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_v} \quad (1)$$

em que: ρ_b , a densidade básica em g.cm^{-3} ; V_v , o volume dos corpos-de-prova verdes cm^3 ; e M_s , a massa dos corpos-de-prova absolutamente secos g.

Para análise da densidade da casca (ρ_{bc}) foram retirados três corpos de prova, de aproximadamente 10x20 mm, que se constituíram repetições para cada altura dos discos retirados. Os corpos de prova foram identificados e submersos em água até atingir o ponto de saturação das fibras. Em seguida, os corpos de prova foram submersos completamente em mercúrio, estando suspenso em uma haste fixa, e então os empuxos foram imediatamente lidos. O volume foi determinado pelo método da balança hidrostática, empregando-se mercúrio como fluido de imersão. Os corpos de prova foram para secagem em estufa a $105^\circ\text{C} \pm 2$ até atingir a massa constante, e a massa seca foi então registrada.

A densidade básica da casca por meio da equação:

$$\rho_{bc} = \frac{Ms}{\left(\frac{Ev}{13,579}\right)} \quad (2)$$

onde: ρ_{bc} a densidade básica da casca em gramas por centímetro cúbico; Ms a massa da amostra seca em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (g); Ev empuxo verde dos coros de prova.

O volume dos corpos de prova equivalente ao volume do mercúrio deslocado que, por sua vez, é igual a diferença de M2-M1, considerando-se a densidade do mercúrio como de 13,579 g/cm³. Foi escolhido mercúrio para estimativa da massa específica, diante da necessidade de uma maior precisão das medidas, uma vez que o mercúrio tem densidade superior a da água.

A densidade básica das cascas (ρ_{bc}) foi considerada como sendo a média aritmética dos pontos de amostragem longitudinal no tronco das árvores, sem considerar a posição do DAP.

3.4 Massa seca da parte aérea

A massa seca de madeira/casca (kg) foi obtida multiplicando-se o volume médio (m³) da madeira/casca pela densidade básica da madeira/casca (kg.m⁻³), conforme a equação (3):

$$MS = Vm * Db \quad (3)$$

em que: MS = massa seca de madeira/casca (kg); VM= o volume médio da madeira/casca (m³); e Db a densidade básica da madeira/casca (kg.m⁻³).

A massa seca/hectare foi obtida pela média de massa seca da madeira e casca das árvores multiplicada pelo pela densidade de plantas por hectare, conforme equação 4.

$$MSM/ha = ms \times Dp \quad (4)$$

em que: MSM/ha a massa seca da madeira e de casca por hectare (Mg. ha⁻¹), ms a massa seca média madeira e de casca (g), e Dp a Densidade de plantio.

Para análise de massa seca de galhos e folhas, cada árvore foi desfolhada, sendo suas folhas devidamente pesadas. Posteriormente, suas folhas foram misturadas, formando uma amostra composta, para em seguida, ser retirada uma subamostra, que foi devidamente pesada. Após sua desfolha, cada árvore selecionada foi desganhada e todos os seus galhos pesados. No conjunto de galhos foram retirados fragmentos de galhos localizados em diferentes posições da copa da árvore, os quais foram misturados formando uma amostra composta. Dessa amostra, foi retirada uma subamostra, devidamente pesada. As amostras de galhos e folhas foram colocadas para secar em estufa a 60° C até peso constante.

Figura 3- Desgalhamento e Desfolha das árvores amostra.



Fonte: Autor.

A massa seca das folhas e galhos foi obtida por meio da equação 5 utilizada por Soares (1995):

$$MS = Pu(c) \times Ps(a) / Pu(a) \quad (5)$$

em que: MS a massa seca de galho ou folha por árvore (kg), Pu(c) o peso úmido total do campo, Ps(a) o peso seco da amostra(kg), Pu(a) o peso úmido da amostra(kg).

A massa seca por hectare de galhos e folhas da árvore foi dada pela equação 6. Os valores obtidos foram multiplicados pela densidade de plantio para determinação da massa seca/ hectare de galhos e folhas por hectare (Mg. ha⁻¹).

$$MS = MU \times msa/mua \quad (6)$$

em que: MS a massa seca de galho ou folha por árvore (g), MU a massa úmida de galho ou folha por árvore (g), msa a massa seca da amostra (g), e mua a massa úmida da amostra (g).

A massa seca da madeira, casca, galho e árvore foram somadas, sendo encontrados o valor em quilograma/árvore de cada tratamento. Procedeu-se da mesma forma, para a massa seca por hectares dos componentes da parte aérea, dados em Megagrama/hectare. Após a obtenção dos valores de massa seca, foi avaliada a porcentagem da massa seca de cada componente da parte aérea em relação ao total de massa seca.

3.5- Análise elementar

O teor de carbono das amostras de casca, madeira, folha e galho foi calculado aferindo-se uma massa equivalente a 2,0 mg ($\pm 0,5$) de serragem seca, em um porta-amostra de estanho, previamente selecionada em peneiras sobrepostas, granulometria de 40 mesh, sendo utilizada a fração peneirada. Em seguida, as amostras foram colocadas no carrossel do equipamento da marca LECO®, modelo TruSpec Micro CHNS/O. A análise foi realizada em uma amostra por vez. Os gases necessários para a operação foram o hélio, que é o gás de arraste, e o oxigênio, gás de ignição. A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento, no momento da queda da amostra do carrossel, foi de 1.075 °C. Após a combustão, os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e dele seguiram para a coluna de detecção. O carbono, assim como os outros elementos, foi detectado através de um detector de termocondutividade, em que cada elemento tem interação e pico específico. O computador que estava acoplado ao equipamento realiza o cálculo da porcentagem de cada elemento.

3.6 Massa de carbono

A massa de carbono (expressa em quilograma/árvore) foi obtida multiplicando-se a massa seca de cada componente pela sua respectiva porcentagem de carbono, conforme a equação (7).

$$MC = (MSMm \times Cm) + (MSMc \times Cc) + (MSMg \times Cg) + (MSMf \times Cf) \quad (7)$$

em que: MC a massa de carbono (kg/ árvore¹), MSMm a massa de carbono da madeira (Mg. ha⁻¹), e Cm (%) a porcentagem de carbono/100 da madeira, MSMc a massa de carbono da casca (Mg. ha⁻¹), e Cm (%) a porcentagem de carbono/100 da casca, MSMg a massa de carbono dos galhos (Mg. ha⁻¹), e Cm (%) a porcentagem de carbono/100 dos galhos, MSMf a massa de carbono das folhas (Mg. ha⁻¹), e Cm (%) a porcentagem de carbono/100 das folhas.

A massa de carbono (expressa em megagrama/hectare) foi obtida multiplicando-se a massa seca por árvore pela sua respectiva densidade de plantio (equação 8).

$$MC/hectare = (MC \times Dp) \text{ (8)}$$

em que: MC a massa de carbono (Mg/ hectare⁻¹).

Após a obtenção dos valores de massa de carbono, foi avaliada a porcentagem da massa de carbono de cada componente da parte aérea em relação ao total de massa de carbono, além da relação entre carbono/biomassa de cada clone/espacamento e entre as médias dos componentes da parte aérea das árvores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca por árvore (MS)

Quanto a produção de massa seca por árvore (MS) verificou-se uma média de 4,56 kg/árvore, sendo o clone 2, no maior espaço vital (9m²) testado, atribuído o maior valor de massa seca/árvore. A densidade de plantio baixa apresentou os valores mais elevados de MS/árvore, evidenciando a influência do maior espaço vital no desenvolvimento da planta (TAB. 3).

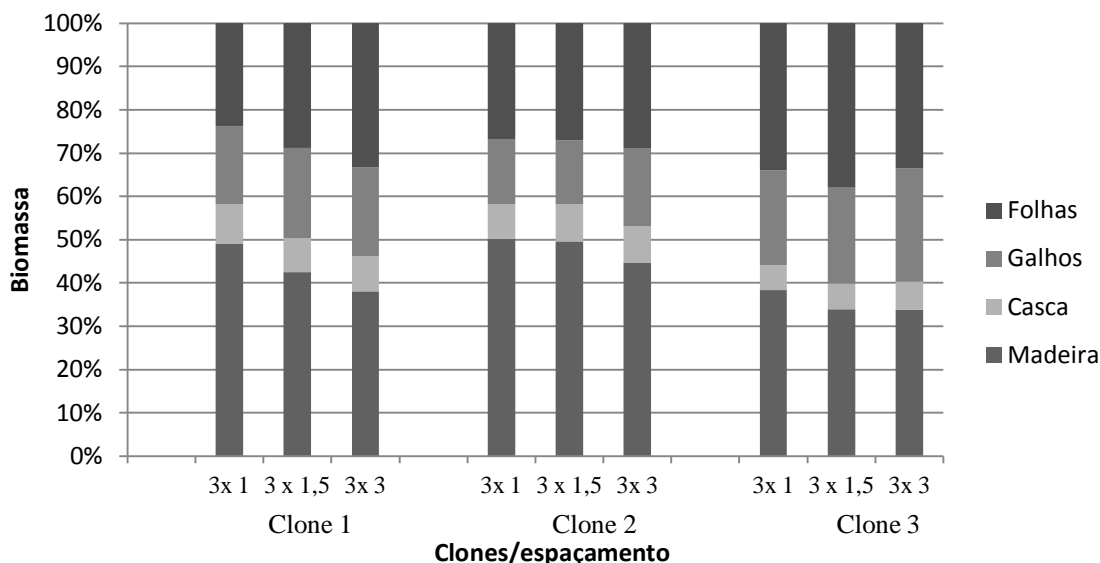
Quanto à distribuição percentual média dos componentes da parte aérea da planta, a madeira, a casca, os galhos e as folhas representaram 42,23%, 7,62%, 19,69% e 30,45%, respectivamente. Deve-se destacar que na idade de 12 meses, há grande crescimento e elevada taxa fotossintética, o que justifica o elevado percentual de folhas. Verificou-se que para todos os clones, o maior percentual de madeira foi registrado nas densidades de plantio mais elevadas. O clone 2 apresentou o maior percentual de madeira. Os clones 1 e 2 apresentam os percentuais mais elevados de casca, sendo que o clone 1 em alta densidade de plantio apresentou o maior percentual de casca. Quanto aos galhos e folhas, observou-se que o clone 3 apresentou os maiores percentuais. O maior percentual de galhos foi observado em baixa densidade de plantio, e o maior percentual de folhas foi verificado em média densidade de plantio (GRAF. 3).

Tabela 3 - Massa seca por árvore (MS) e sua distribuição entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.

Produtividade dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.					
Espaçamento (mxm)	MS (kg.árv ⁻¹)	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
		kg.árv ⁻¹			
Clone 1					
3x1	3,77	1,85	0,35	0,68	0,89
3x1,5	4,89	2,08	0,39	1,02	1,41
3x3	6,45	2,45	0,53	1,32	2,14
Clone 2					
3x1	3,41	1,71	0,27	0,52	0,91
3x1,5	4,39	2,18	0,37	0,64	1,19
3x3	7,37	3,29	0,63	1,32	2,13
Clone 3					
3x1	3,15	1,21	0,18	0,69	1,07
3x1,5	3,24	1,10	0,19	0,72	1,23
3x3	4,33	1,47	0,28	1,13	1,45
Média	4,56	42,23	7,62	19,69	30,45

Fonte: Autor.

Gráfico 3 –Distribuição percentual (%), entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.



Fonte: Autor.

Dentre os espaçamentos utilizados no trabalho, verificou-se que o aumento do espaço vital entre as plantas, proporcionou uma maior produção individual de massa seca/árvore. O espaço vital pode ser entendido como o espaço que a planta tem para se desenvolver. Inoue *et. al.* (2011), relata que conforme o espaço vital aumenta o diâmetro das árvores também se eleva, enquanto a área basal diminui.

Segundo Couto *et al.* (2009) a biomassa por árvore é substancialmente afetada pelo espaçamento, decrescendo com em espaçamentos adensados. Leles *et. al.* (2001) também relata diferenças entre a massa seca de árvores (MS) de dois clones distribuídos em nove diferentes espaçamentos. O autor relata que as árvores do espaçamento 3x3 m, alcançaram valores de MS até três vezes maiores do que as árvores do espaçamento 3x1 m. Silva *et. al.* (2015) avaliando a produção de massa seca total de *Eucalyptus* spp., na idade de 27 meses, verificou o valor de 36,10 kg.árv⁻¹.

No presente estudo, foram encontrados valores de massa seca que variaram de 3,15 a 7,47 kg.árv⁻¹, e média de 4,56 kg.árv⁻¹. Assis *et. al.* (2015), utilizando modelagem de massa seca para sete clones diferentes, alcançou, na idade de 12 meses, valores que variaram de 0,76 a 1,2 kg.árv⁻¹.

A distribuição média da biomassa da parte aérea foi de 42,23% de madeira, 7,62 % de casca, 19,69 % de galhos e 30,45% de folhas. Alves *et. al.* (2007) trabalhando com três diferentes clones de *Eucalyptus*, de quatro anos e meio de idade, verificaram, que a distribuição percentual dos componentes da parte aérea foi para folhas 8,5% galhos

12,6%, casca 8,9% e madeira 70%. Leles *et. al.* (2001) encontrou os percentuais dos componentes da parte aérea e raízes: 62,6 % de madeira, 7% de casca, 18% de galhos e 12,4% de folhas. Sartório (2014) estimou a massa seca por árvore de quatro materiais genéticos (clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), em diferentes idades. Na idade de 12 meses, o particionamento dos componentes da parte aérea no espaçamento de plantio 3x1 m foi 6,52%, 16,53%, 23,81% e 53,13% para casca, folha, galhos e troncos, respectivamente. Na idade de 30 meses, o percentual de cada componente da parte aérea foi de 7,27% para casca, 5,52% para folha, 12,42 para galhos e 74,80% para madeira. As outras densidades de plantio apresentaram médias semelhantes dentro de uma mesma idade. Apesar de o experimento ter registrado maior percentual de tronco e galhos na idade de 12 meses, estes percentuais elevaram-se na idade de 30 meses.

Loureiro (2014) avaliando a produção de massa seca de clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, em quatro diferentes densidades de plantio, aos 18 meses, em uma região da Zona da Mata mineira, obteve para os espaçamentos 2x1 m, 2x2 m, 3x2 m e 3x3 m, valores de massa seca por árvore de 4,48 kg, 3,86 kg, 5,60 kg, e 4,86 kg. Quanto ao particionamento dos componentes da parte aérea, foi encontrada uma média de 31,45 % para folhas, 29,95 % para galhos e 38,60% para madeira e casca. Os resultados do autor mostraram maiores quantidades de galhos e valores menores para a soma de madeira e casca, observadas neste experimento. Mesmo a idade dos clones sendo de 18 meses, os valores encontrados pelo autor, são similares aos relatados neste experimento. Por sua vez, Schumacher (2011) avaliando um experimento em Vera Cruz-RS, com *Eucalyptus* sp., utilizando o espaçamento 1,5 x 1,5 m com uma idade de 24 meses, relata que o particionamento dos componentes da parte aérea foi de 11,57% de folhas, 25,59% de galhos e 62,84% de fuste em relação ao total, registrando valores mais elevados que encontrados neste experimento.

O alto percentual de folhas encontrados no estudo está relacionado a curta idade dos clones estudados, dado seu elevado crescimento e elevada taxa fotossintética, dados que podem ser corroborados por Caron *et al.* (2015), que estimou a biomassa de quatro espécies em quatro diferentes espaçamentos, na idade de 12 e 36 meses. A distribuição percentual dos componentes da parte aérea (madeira, casca, folhas e galhos) de *Eucalyptus grandis* foi respectivamente: 25,76%, 3,94%, 23,89% e 46,4%, aos 12 meses de idade; e 57,10%, 14,06%, 13,79% e 14,97%, aos 36 meses de idade. Comparando os dados do autor a este experimento, a produção de galhos e folhas também foi percentualmente maior que a de madeira e casca, mas numa proporção maior. Todavia,

aos três anos de idade, esse cenário se inverte, com grande participação de massa seca da madeira e da casca na massa seca total por árvore.

4.2 Massa seca total (MST)

Os clones de *Eucalyptus* e *Coymbia* apresentaram, aos 12 meses de idade, média de massa seca total (MST) de 9,16 Mg.ha⁻¹, com os valores variando de 4,81 Mg.ha⁻¹ a 12,58 Mg.ha⁻¹ (TAB. 4). A massa seca média da madeira, casca, galhos e folhas foi de 3,98 Mg.ha⁻¹, 0,71 Mg.ha⁻¹, 1,75 Mg.ha⁻¹ e 2,72 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

Observou-se, em todos os clones estudados, que a maior densidade de plantio, proporcionou maior valor de massa seca por hectare, em razão do maior número de árvores por unidade de área, assim como, a menor densidade de plantio, apresentou os menores valores de massa seca por unidade de área. Couto *et al.* (2009) relata que em espaçamentos mais adensados, os valores de massa seca por unidade de área são mais elevados.

O clone 1 apresentou o maior valor de massa seca da parte aérea, nas densidades de plantio alta e média. Todavia, o clone 2 apresentou valores superiores de massa seca da parte aérea por hectare na baixa densidade. Já o clone 3, em todas as densidades de plantio estudadas, apresentou os menores valores de produção de massa seca por hectare.

Em alta densidade de plantio, o clone 1 apresentou maiores valores de massa seca/hectare da madeira e casca, assim como o clone 2, em baixa densidade de plantio, apresentou os maiores valores, em relação aos demais clones. O clone 3, em alta densidade de plantio, obteve os valores mais elevados para folhas, em relação aos demais clones.

Tabela 4 - Massa seca total/hectare (MST), e massa seca da madeira, casca, galhos e folhas por hectare, em Mg.ha⁻¹, dos clones dos diferentes espaçamentos de plantio.

Espaçamento (mxm)	MST	MSmadeira	MScasca	MSgalhos	MSfolhas
Mg.ha ⁻¹					
Clone 1					
3x1	12,58	6,17	1,15	2,28	2,98
3x1,5	10,87	4,62	0,86	2,26	3,14
3x3	7,16	2,73	0,59	1,47	2,38
Clone 2					
3x1	11,38	5,71	0,91	1,72	3,04
3x1,5	9,75	4,84	0,83	1,43	2,64
3x3	8,19	3,66	0,70	1,46	2,36
Clone 3					

3x1	10,51	4,03	0,61	2,29	3,58
3x1,5	7,20	2,44	0,43	1,60	2,74
3x3	4,81	1,63	0,31	1,26	1,61
Média	9,16	3,98	0,71	1,75	2,72

Fonte: Autor.

No estudo, foi encontrado valor médio total de massa seca/hectare de 9,16 Mg.ha⁻¹, com médias de 3,98, 0,71, 1,75 e 2,72 Mg.ha⁻¹ para a madeira, casca, galhos e folhas, respectivamente. Observou-se, grande contribuição das folhas na massa seca da parte aérea total, em especial para o clone 3. Observou-se que a medida que a densidade do plantio aumentou, a massa seca da parte aérea se elevou, principalmente para o clone 3. Quando comparado, em alta densidade de plantio, com os outros clones, o clone 3 se mostrou competitivo quanto a geração de massa seca/hectare, fato proporcionado aos altos valores dos componentes galhos e folhas. Logo, este clone pode ser uma interessante alternativa em plantios quando usado para mecanismo de desenvolvimento limpo, venda de créditos de carbono e projetos de mitigação dos efeitos do gás carbônico.

Wink *et al.* (2013) observou que a massa seca da parte aérea total de clones de *Eucalyptus spp.*, aos 20 e 44 meses, foram na ordem de 18,23 e 61,50 t ha⁻¹, respectivamente. Gatto *et al.* (2011), trabalhando com avaliação indireta de massa seca de eucaliptos em diferentes idades, em cinco regiões diferentes, relataram que clones de eucalipto aos 24 meses de idade, obtiveram valores para massa seca da parte aérea por hectare, mínimo de 19,7 Mg.ha⁻¹, e máximos de 54,1 Mg.ha⁻¹.

Caron *et al.* (2015), apresenta dados sobre a massa seca por hectare de *E. grandis* em quatro diferentes espaçamentos. Aos 12 meses de idade, no espaçamento de plantio 3x1 m, a massa seca total da parte aérea foi de 4,60 Mg.ha⁻¹, sendo encontrados valores de massa seca para madeira, casca, galhos e folhas de 1,05 Mg.ha⁻¹, 0,17 Mg.ha⁻¹, 1,09 Mg.ha⁻¹, 2,29 Mg.ha⁻¹, respectivamente. No mesmo espaçamento aos 36 meses de idade, a massa seca total da parte aérea foi de 90,50 Mg.ha⁻¹, sendo encontrados valores de massa seca para madeira, casca, galhos e folhas de 46,88 Mg.ha⁻¹, 13,53 Mg.ha⁻¹, 13,31 Mg.ha⁻¹, 16,78 Mg.ha⁻¹, respectivamente. Neste experimento, a média de massa seca por hectare no espaçamento 3x1 m foi 10,20 Mg.ha⁻¹, valor bem superior ao encontrado por Caron *et al.* (2015). Porém, inferior ao encontrado por Sartório (2014), para a mesma densidade de plantio, sendo que este autor relata para quatro clones de *Eucalyptus sp.*, média da massa seca total da parte aérea de 14,26 Mg.ha⁻¹.

Loureiro (2014) verificou que no espaçamento 2x1 m, a idade de 18 meses, tem-se o resultado de 6,39 Mg.ha⁻¹ de folhas, 6,60 Mg.ha⁻¹ de galhos e 8,88 Mg.ha⁻¹ no fuste, o que totaliza 22,37 Mg.ha⁻¹, enquanto que no espaçamento menos adensado o total de massa seca por hectare, alcançou apenas 5,40 Mg.ha⁻¹. Schumacher (2011), no espaçamento 1,5 x 1,5 m encontrou 23,33 Mg.ha⁻¹ de massa seca e chegou ao resultado de 2,70 Mg.ha⁻¹ de biomassa de folhas, 5,97 Mg.ha⁻¹ de biomassa de galhos e 14,66 Mg.ha⁻¹ de biomassa do fuste com casca.

4.3 Teor de carbono

Os teores de carbono representaram em média 49,94%, 49,15%, 54,54% e 56,91%, na madeira, casca, galhos e folhas, respectivamente (TAB. 5). Houve, para todos os clones, nos três espaçamentos testados, maiores teores de carbono nas folhas e galhos. Não houve diferenças entre os teores de carbono entre as densidades de plantio e clones usados no experimento.

Tabela 5 - Teores de carbono (%) na parte aérea nos clones em diferentes espaçamentos de plantio.

Espaçamento (mxm)	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
	%			
Clone 1				
3x1	48,31	49,45	56,02	57,60
3x1,5	49,45	49,11	54,88	57,77
3x3	48,39	50,96	53,58	55,15
Clone 2				
3x1	49,19	47,44	56,75	57,65
3x1,5	50,9	44,84	45,88	58,75
3x3	50,75	47,19	53,04	55,92
Clone 3				
3x1	49,86	49,39	57,95	56,32
3x1,5	51,01	51,44	55,43	60,44
3x3	51,59	52,53	57,39	52,58
Média	49,94	49,15	54,54	56,91

Fonte: Autor.

Estudar os percentuais de carbono nos compartimentos da massa seca é essencial para compreender as variações destes teores na árvore, entre diferentes espécies, regiões ou espaçamentos. Silva *et. al.* (2015) estudando clones de *Eucalyptus spp.* na idade 2,3 anos, encontrou teores 46,56% para o lenho, 43,71% para a casca, 45,92% para os galhos

e 50,94% para as folhas. Dallagnol *et. al.* (2011), estudando os teores de carbono para indivíduos de *E. grandis* com idades entre 8 a 20 anos ao sul do Brasil, encontraram teores para os compartimentos casca, lenho, galhos e folhas de 39,46%, 42,61%, 42,06% e 48,17%, respectivamente. Os resultados de Alves *et. al.* (2007) para o estudo realizado em Araripina – PE em plantios de *Eucalyptus spp.* indicaram que os teores de carbono para os compartimentos do fuste (lenho + casca), casca, folha e galho foram de 46,97%, 38,95%, 34,74%, 35,64%, respectivamente. Por sua vez, Neves (2000) obteve teores médios de carbono de 52% em folhas, 48% para casca, 52% para galhos e 50,5% para o lenho em povoamentos clonais de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) na região litorânea do Espírito Santo.

Trugilho *et. al.* (2010) com base em metodologia tradicional e alternativa da coleta de disco para a análise do teor de carbono presente no lenho comercial (seis anos de idade) de árvores de *E. grandis* para a região de Matinhos Campo – MG, observou teores de 50,14 % e 49,74, respectivamente. Protásio *et. al.* (2014) trabalhando com dois clones comerciais de *Eucalyptus* as idades de 49 e 61 meses, encontraram teores de carbono para a madeira de 46,34% e 47,19%. Por sua vez, avaliando teores de carbono de *E. globulus*, Lopes e Aranha (2006) encontraram o teor de carbono de 40,4% para o tronco. Assis (2012), avaliando clones de *Eucalyptus* sp., relatou que o carbono do lenho variou aos 12 meses, de 45,89 a 48,34%, respectivamente.

Neste estudo, foram verificados percentuais médios de carbono de 49,15% para a casca, 49,94% para a madeira, 54,54% para os galhos e 56,91% para as folhas. Observou-se que estes valores são mais elevados do que o relatado em Silva *et. al.* (2015), Dallagnol *et. al.* (2011) e Alves *et. al.* (2007), e equivalentes ao que foi apresentado por Trugilho *et. al.* (2010), para a madeira. Os teores encontrados neste trabalho para a casca e madeira, comparativamente com os outros trabalhos citados, confirmam que dificilmente existem teores que ultrapassam valores de 50%. Segundo Assis (2015), nota-se uma tendência de aumento na porcentagem do carbono elementar com o passar do tempo, para todos os materiais genéticos e compartimentos das plantas.

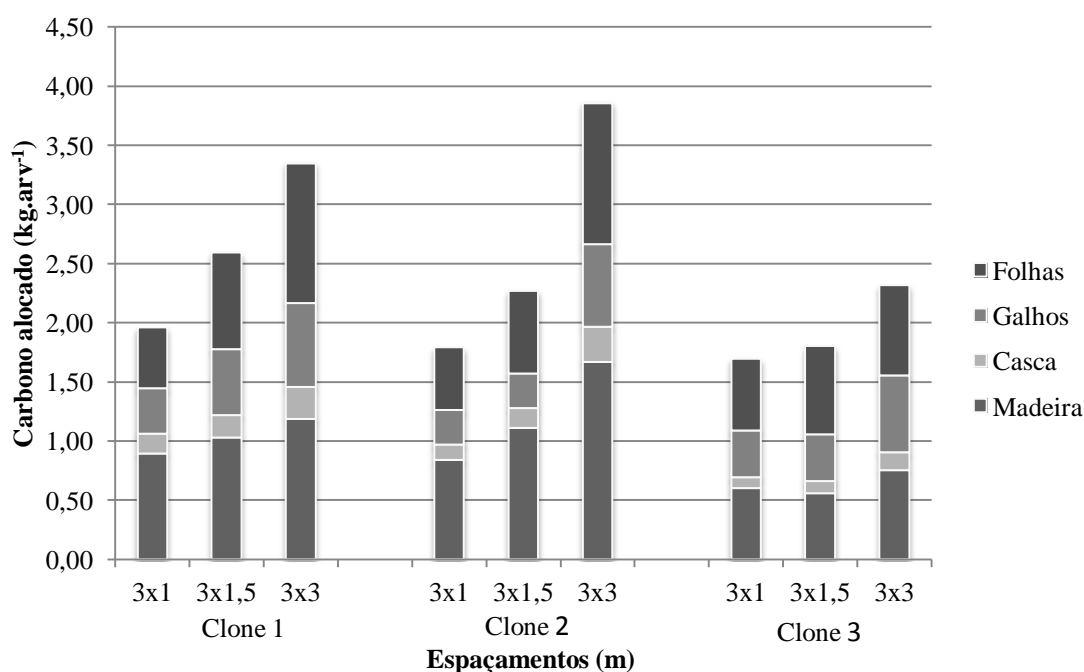
Inúmeros fatores contribuem para o teor de carbono nas árvores: diferenças entre as florestas, variabilidade entre indivíduos, variações nos teores dos compartimentos da massa seca, regiões e métodos de análise (Dallagnol *et. al.*, 2011). Presumivelmente, os elevados teores de carbono nos galhos e folhas encontrados no presente estudos devem estar relacionados à idade dos clones, sua elevada taxa fotossintética e, conseqüentemente, alta fixação de carbono nestes componentes.

Observa-se que os teores de carbono em geral foram superiores aos 47% (IPCC 2006) ou 50% recomendados (IPCC 2011). As estimativas de armazenamento de carbono, se determinadas com exatidão, asseguram estimativas mais precisas das quantidades de carbono acumulado. Utilizar um único valor de teor de carbono para os diferentes compartimentos da árvore e espécies pode induzir grandes erros de estimativas (KOEHLER *et al.*, 2005; Assis, 2012).

4.4 Massa de carbono por árvore

A média de massa de carbono por árvore foi de $2,40 \text{ kgC.arv}^{-1}$, sendo que os valores variaram de $1,70 \text{ kgC.arv}^{-1}$ até $3,86 \text{ kgC.arv}^{-1}$ (GRAF. 4). Assim como para massa seca por árvore, a baixa densidade de plantio apresenta os maiores valores de carbono por árvore, sendo o clone 2, aquele que obteve o maior valor de carbono fixado por árvore. Embora em alta densidade de plantio, o clone 3 se mostrou competitivo, em baixa densidade de plantio, obteve a menor quantidade de carbono fixada. Loureiro (2014) mostra que, por árvore, os espaçamentos maiores possuem uma maior biomassa. No entanto, como no espaçamento mais adensado tem-se maior número de árvores, isso faz com que este tenha maior quantidade de biomassa e carbono em idades mais jovens, que é o caso deste experimento.

Gráfico 4 - Carbono fixado na parte aérea (KgC.arv^{-1}) nos clones em diferentes espaçamentos de plantio



Fonte: Autor.

Assis *et. al.* (2015) trabalhando com modelagem para massa seca e carbono de clones de eucalipto até 12 meses de idade, encontrou valores de carbono por árvore que variaram de 0,35 a 0,54 kgC.arv⁻¹, sendo um clone de *E. camaldulensis*, o que apresentou maior taxa de fixação de carbono. Por sua vez Silva *et. al.* (2015) estudando clones de *Eucalyptus* spp. na idade 27 meses, encontrou o valor de carbono de 16,71 kgC.arv⁻¹, sendo que a madeira responsável por 60,2% do carbono fixado.

Loureiro (2014), avaliando clones aos 18 meses de idade, relata que para os espaçamentos 2x1 m, 2x2 m, 3x2 m e 3x3 m, os valores de massa de carbono (kg) por árvore são, respectivamente: 2,10 kg, 1,82 kg, 2,63 kg e 2,21 kg, sendo verificada uma diferença evidente entre o espaçamento 3x2 e 2x2 m.

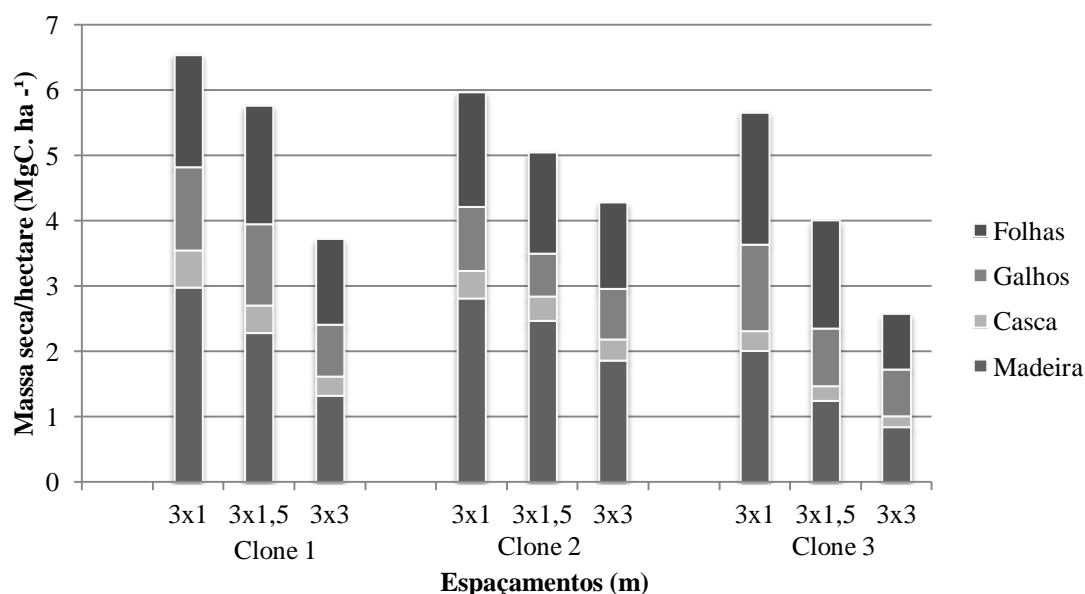
4.5 Massa de carbono por hectare

A massa de carbono média/hectare dos clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* foi de 4,84 MgC.ha⁻¹, sendo que os valores variaram de 2,57 MgC.ha⁻¹ até 6,54 MgC.ha⁻¹ (GRAF. 5). A quantidade média de carbono fixado na casca foi de 0,35 MgC.ha⁻¹, da madeira 1,98 MgC.ha⁻¹, galhos 0,96 MgC.ha⁻¹ e folhas 1,55 MgC.ha⁻¹. Observou-se maior valor de massa de carbono por hectare nas altas densidades de plantio, uma vez que, apresentaram os maiores valores de massa seca por unidade de área.

Assim como o que foi verificado para a massa seca, o clone 1 foi o que apresentou o maior valor de carbono fixado nas densidades média e alta de plantio. Já o clone 2, alcançou valores superiores em baixa densidade de plantio. O clone 3 apresentou a menor quantidade de carbono fixado na madeira e na casca entre os clones estudados, destacando-se este clone para alta produção de massa de carbono presentes nas folhas.

No presente estudo, a massa de carbono média alocada na parte aérea dos clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* foi de 4,84 MgC.ha⁻¹ e 2,40 kgC.arv⁻¹, respectivamente. Em alta densidade de plantio, os três clones mostraram-se produtivos. Em baixa densidade de plantio, o clone 2 mostrou-se o mais eficiente na fixação de carbono na parte aérea das plantas. As hipóteses de que o aumento do espaço vital e da densidade de plantio é acompanhado pelo aumento da produção de massa seca e fixação do carbono, são corroboradas por este estudo.

Gráfico 5 - Massa de carbono/hectare fixado na parte aérea (MgC.ha^{-1}) nos clones em diferentes espaçamentos de plantio.



Fonte : Autor.

Conhecidos os teores de carbono dos compartimentos da massa seca é possível inferir a quantidade de carbono fixado por cada árvore e por unidade de área. Segundo Lemos *et. al.* (2010) num povoamento de eucalipto com produtividade média de $42 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ produziria, aproximadamente, $10,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de carbono por ano de crescimento. Por sua vez, Almeida *et. al.* (2015), descreve um incremento de $18,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de massa seca por ano, e considerando um índice de 0,46% de carbono, $8,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de carbono por ano.

Gatto *et. al.* (2011), trabalhando com avaliação indireta de massa seca de eucaliptos em diferentes idades em cinco regiões diferentes, relata que clones de eucalipto aos 24 meses de idade, obtiveram valores mínimos carbono estocado na massa seca total da parte aérea de $9,95 \text{ Mg.ha}^{-1}$, e máximo de $27,45 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Wink *et. al.* (2013) registraram que o carbono fixado na massa seca total da parte aérea de clones de *Eucalyptus* sp. de 20 e 44 meses foi $8,20$ e $27,68 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

A distribuição percentual média do carbono entre os componentes da planta foi para madeira, casca, galhos e folhas, respectivamente: 39,9 %, 7,07%, 20,37 % e 32,65% (TAB. 6). Nota-se que a quantidade percentual de carbono fixado nos galhos e folhas, foi maior daquele da madeira e casca. Todavia, o clone 2 não apresenta essa relação, alocando mais carbono na madeira e na casca.

Tabela 6 - Massa de carbono por hectare e sua distribuição percentual (%), entre os componentes da parte aérea das plantas dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.

Biomassa carbono Mg.ha ⁻¹					
Espaçamento	Total	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
	Mg.ha ⁻¹	%			
Clone 1					
3,0 x 1,0	6,54	45,54	8,72	19,48	26,25
3,0 x 1,5	5,76	39,69	7,31	21,53	31,47
3,0 x 3,0	3,72	35,48	8,04	21,18	35,3
Clone 2					
3,0 x 1,0	5,97	47,03	7,21	16,37	29,39
3,0 x 1,5	5,05	48,82	7,4	13,03	30,75
3,0 x 3,0	4,29	43,3	7,72	18,12	30,86
Clone 3					
3,0 x 1,0	5,66	35,54	5,34	23,47	35,65
3,0 x 1,5	4,01	31,09	5,51	22,12	41,29
3,0 x 3,0	2,57	32,62	6,4	28,06	32,92
Média	4,84	39,9	7,07	20,37	32,65

Fonte: Autor.

Loureiro (2014) relata que para os espaçamentos 2x1 m, 2x2 m, 3x2 m e 3x3 m, os componentes da parte aérea tiveram os seguintes percentuais de carbono, respectivamente: folhas (29,2%, 32,5%, 30,9% e 33,2%); galhos (30,2%, 31,2%, 28,7% e 29,7%); e fuste (40,6%, 36,3%, 40,4% e 37,1%). Logo, o percentual médio de carbono para fuste, galhos e folhas é 38,6%, 29,95% e 31,43%. Comparado, com o presente estudo, os dados das plantas aos 18 meses de Loureiro (2014), apresentam menor quantidade de carbono no fuste. Por sua vez, Alves (2011) encontrou os seguintes percentuais de carbono para os componentes fuste, galhos, casca e folhas, respectivamente: 67,32%, 8,78%, 6,64% e 17,27%.

Durante a fase inicial do crescimento de uma floresta, uma grande quantidade de carbono é alocada na copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente (CALDEIRA *et al.* 2000). Nota-se, que o percentual de carbono do fuste em relação ao carbono total é mais expressivo em povoamentos mais velhos. O contrário acontece com as folhas e galhos, que apresentam percentuais menores em idades mais avançadas.

Segundo Nutto *et al.* (2002), uma tonelada de carbono corresponde a 3,66 toneladas de CO₂ assimiladas. Considerando essa informação, a Tabela 7 apresenta a quantidade de CO₂ assimilada pelos clones de eucaliptos.

Tabela 7 - Massa de gás carbônico absorvido por hectare pelos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, aos 12 meses de idade.

Espaçamento	Biomassa carbono CO ₂ absorvida t ha ⁻¹				
	Total	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
Clone 1					
3x1	23,94	10,90	2,09	4,67	6,29
3x1,5	21,08	8,36	1,54	4,54	6,63
3,x3	13,61	4,83	1,09	2,88	4,80
Clone 2					
3x1	21,84	10,27	1,57	3,58	6,42
3x1,5	18,47	9,02	1,37	2,41	5,68
3,x3	15,68	6,79	1,21	2,84	4,84
Clone 3					
3x1	20,70	7,36	1,11	4,86	7,38
3x1,5	14,66	4,56	0,81	3,24	6,05
3,x3	9,42	3,07	0,60	2,64	3,10
Média	17,71	7,24	1,27	3,52	5,69

Fonte: Autor.

Segundo Mora e Garcia (2000), um hectare de floresta jovem de eucalipto fixa, em média, 35 toneladas de CO₂ por ano, ou seja em 4 anos fixaria 140 toneladas. Alves (2007) verificou que clones de eucalipto com idade de 4,5 anos, fixaram em média 141,24 MgC.ha⁻¹, na época de abate das árvores. Por sua vez neste experimento foram fixados apenas 17,71 toneladas de gás carbônico, metade da quantidade estimada por Mora e Garcia (2000). Isso se deve ao fato de ainda estar no primeiro ano de crescimento dos clones, algo que se eleva muito com o tempo.

Um exemplo disso é o registrado por Sartório (2014), no espaçamento 3x1 m os clones tiveram média de 4,28 kg/árvore, quanto que aos 30 meses essa média foi de 22,51 kg/árvore. Se considerarmos, o valor de 50% de carbono, recomendado pelo IPCC, são fixados aos 12 meses 2,14 kg de carbono e de 7,83 kg de gás carbônico, enquanto que aos 30 meses são fixados de 11,26 kg de carbono e de 41,21 kg de gás carbônico. Destaca-se o fato que a madeira, foi o responsável pela maior taxa de absorção de CO₂.

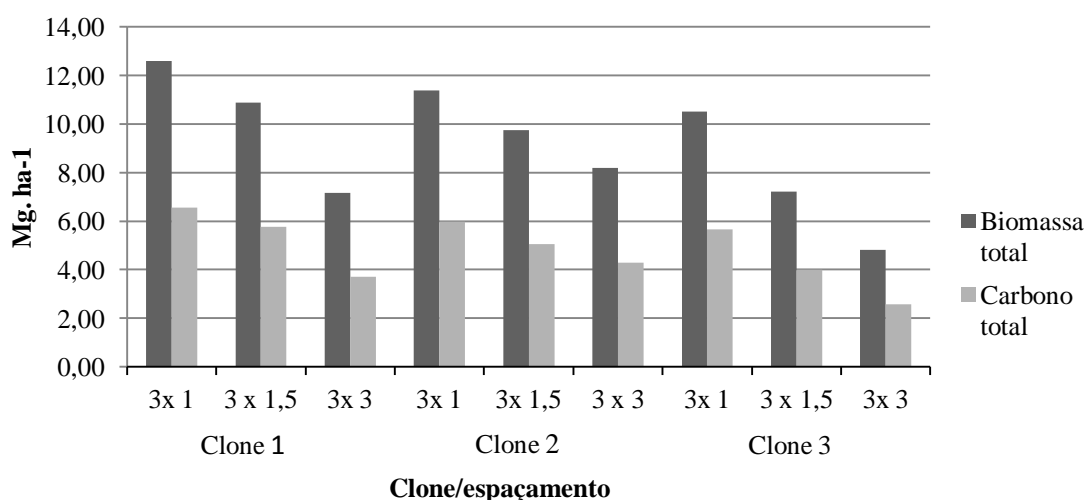
4.6 Relação Massa seca/Carbono em Componentes da Biomassa da parte aérea

As massas secas totais dos componentes da parte aérea dos clones de eucalipto no experimento de Itamarandiba, nos três clones (Clone 1, 2 e 3) e três espaçamentos (3x1 m, 3x2 m e 3x3 m), foram determinadas em 12,58, 10,87, 7,16, 11,38, 9,75, 8,19, 10,51, 7,20 e 4,81 Mg.ha⁻¹ respectivamente. O percentual de carbono em relação a massa seca total dos clones de eucaliptos do experimento de Itamarandiba, nos três clones (Clone 1, 2 e 3) e três espaçamentos (3x1 m, 3x2 m e 3x3 m), foram estimados em 52,01%, 52,95%, 51,91%, 52,46%, 51,77%, 52,35%, 53,79%, 55,59% e 53,50%, respectivamente (GRAF. 6), representando em porcentagem da massa seca total.

Quanto a relação carbono total/biomassa total, Alves (2007) registra 42,82 %, para clones com 54 meses, Loureiro (2014), 46,99%, para clones com 18 meses, aos 12 meses este estudo encontrou o percentual de 52,93%, o que mostra que árvores mais jovens possuem maior percentual de carbono.

O clone mais produtivo, em termos de biomassa, foi o que fixou mais carbono, no caso, *E. urophylla* (densidade de plantio alta) e o que menos fixou foi o que produziu menos biomassa, *C. citriodora* x *C. torelliana* (densidade de plantio baixa), mostrando assim, que há uma relação entre a produção de biomassa e o teor de carbono fixado.

Gráfico 6 – Acúmulo de biomassa e carbono em clones de eucalipto, cultivados em Itamarandiba.

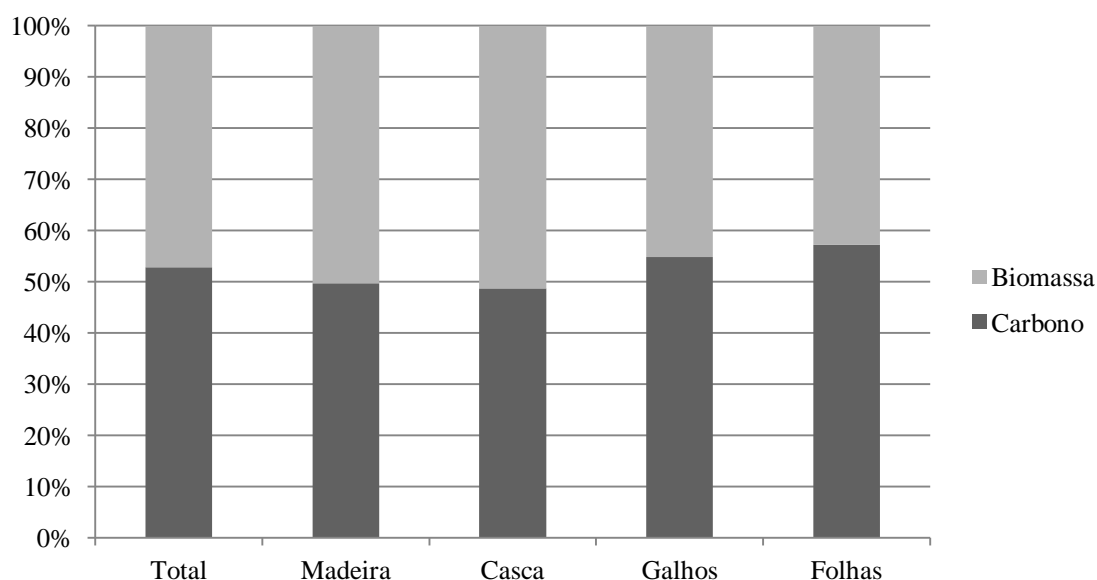


Fonte: Autor.

Alves (2007) relata que o percentual médio de carbono nos componentes da parte aérea (fuste, galhos, casca e folhas) seriam respectivamente: 47,0%; 34,2%; 36,2% e 39,4%, para este estudo foram 49,71%, 48,69%, 54,83%, 57,15% (GRAF. 7). A relação carbono/biomassa dos componentes da parte aérea verificada neste estudo corrobora a

hipótese de que em componentes da parte aérea de árvores mais jovens, há mais carbono, que em árvores adultas.

Gráfico 7 – Relação de carbono total/ biomassa total dos componentes da parte aérea em clones de eucalipto, cultivados em Itamarandiba.



Fonte: Autor.

Os clones na idade de 12 meses apresentaram uma alta relação carbono/biomassa, apresentando valores mais altos de carbono, que a maioria dos dados da literatura. Essas informações são essenciais, pois subsidiam projetos de melhoramento florestal e sequestro de carbono, além de nortear estudos futuros que se enquadram na temática de acúmulo de biomassa e carbono e das espécies florestais.

5 CONCLUSÕES

As análises realizadas permitem concluir que:

- A alta densidade de plantio, em razão do maior número de árvores por unidade de área, proporcionou maior quantidade de massa seca e fixação do carbono nos componentes da parte aérea, por unidade de área, nos três clones estudados.
- Em alta e média densidade de plantio, o clone 1, apresentou valores mais elevados para massa seca total da parte aérea e massa de carbono por hectare.
- O clone 3 foi o que menos fixou carbono e produziu massa seca por hectare em densidade de plantio baixa.
- O clone 3, em alta densidade de plantio, apresentou alta produção e fixação de carbono nas folhas, se mostrando competitivo quanto a geração de massa seca/hectare, fato proporcionado aos altos valores dos componentes galhos e folhas.
- O aumento da densidade de plantio pode ser uma ferramenta com vistas a aumentar a produção de biomassa e fixação do carbono.
- A densidade de plantio baixa apresentou os valores mais elevados de MS/árvore, evidenciando que o aumento do espaço vital entre as plantas, proporciona uma maior produção individual de massa seca/árvore.
- Houve, para todos os clones, nos três espaçamentos testados, maiores teores de carbono nas folhas e galhos. Não houve diferenças entre os teores de carbono nas densidades de plantio e clones usados no experimento.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. **Análise Crítica das Políticas Públicas em Mudanças Climáticas e dos Compromissos Nacionais de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2012, 97 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2012.

ALLEY, R. *et al.* Sumário para Formuladores de Política. In: **Mudança do Clima: A Base das Ciências Físicas**. (Quarto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2007.

ALMEIDA, A. J. R. *et al.* Projeções da produção de eucalipto na região do Vale do Paraíba – SP - Brasil e sua correlação com a geração de créditos de carbono. **Intraciencia, Revista Científica**, Guarujá-SP, v. 10, p. 1-9 , 2015.

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe – PE**. 2007, 62 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Pernambuco, UFRPE/DCF, Recife, 2007.

ALVES, A. M. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Quantificação da Produção de Massa seca em Clones de Eucaliptos com 4,5 anos, no Pólo Gesseiro do Araripe-PE. **Revista de Ciências Agrárias (Belém)**, v. 48, p. 161-173, 2011.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, P. H. **Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus***. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.

AQUINO NETO, D. A. **Créditos de carbono no mecanismo de desenvolvimento limpo: um estudo de seus fundamentos jurídicos**. 2010, 175 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado do Amazonas, UEA/ESCS, Manaus, 2010.

ASSIS, M. R. **Modelagem da biomassa seca e estoque de carbono total em *Eucalyptus* considerando diferentes estágios de crescimento**. 2012, 197 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, UFLA/DEF, Lavras, 2012

ASSIS, M. R. *et al.* Modelagem da massa seca e do estoque de carbono em plantas jovens de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 43, n. 105, p. 1-14, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 11941: madeira, determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.

ÁVILA, P. R. T. **Os impactos financeiros da comercialização dos créditos de carbono em uma empresa florestal: o caso Plantar S/A**. 2009, 143 p. Dissertação (Mestrado) . Faculdades Integradas Pedro Leopoldo, PPGPA, Pedro Leopoldo: 2009.

BRANDSTOCK, R. Biomass in age series of *Eucalyptus grandis* plantations. **Australian Forest Research**, v. 11, p. 111-127, 1981.

BRITO, S. V. A. **O novo conceito de mobilidade urbana, diante dos limites do planeta e sua relação com as políticas de mudanças climáticas**. 2013, 120 p. Escola Superior Dom Helder Câmara, PPGD, Belo Horizonte, 2013.

BROWN, S. *et al.* **Carbon sinks for abating climate change: can they work?** 2001. Disponível em <<http://www.essex.ac.uk/ces/occasionalpapers/AdditionalPaper.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Produção de biomassa em uma procedência australiana de *Acácia mearnsii* De Wild. plantada no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 201-206, 2000.

CAMPOS, C. P. **A conservação de florestas no Brasil, mudanças no clima e o mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto**, 2001, 169 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/PPGPE, Rio de Janeiro, 2001.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*, avaliação na safra e na safrinha**. 1991, 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, UFPA/DEF, Curitiba, 1991.

CARON, B. O. *et al.* Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 106-112, 2015.

CASARA, Ana Cristina. **Direito ambiental do clima e créditos de carbono**. Curitiba: Juruá, 2011. 235 p.

CENTRAL ANALÍTICA DO INSTITUTO DE QUÍMICA – USP. **Análise elementar – CHN**. Disponível em < http://ca.iq.usp.br/novo/paginas_view.php?idPagina=7>. Acesso em 09 de julho de 2016.

CHACON, J. O sequestro do carbono e a floresta amazônica. **Revista do CREA-RJ**. Rio de Janeiro, v.5, 2000. Disponível em: <http://www.ecolnews.com.br/carbonoefeitoestufa.htm>. Acesso em 8 de junho de 2016.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de Pinus na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 32-39, 2007.

COSTA, P. M. Breve história da evolução do mercado do carbono. **Revista Silvicultura**, ano XIX, n. 76, p. 25-33, 1998.

COUTO, L.; ABRAHÃO, C. P.; LEITE, H. G.; MÜLLER, M. D. **Efeito do Espaçamento sobre a Produção de Biomassa em Florestas Energéticas de Eucalipto**. Florestas Energéticas, 41 p., 2009.

CUNHA, N. R. V.; MAMED, D. O.; FEITOZA, F. J. R. **Novas transformações da ciência, do Meio ambiente e do Direito: O comércio dos certificados de créditos de carbono.** Hiléia: Revista do Direito Ambiental da Amazônia, n. 19, p. 251-270, 2014.

DALLAGNOL, F. S. *et al.* Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro - RJ, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY; NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **NOAA annual greenhouse gas index (AGGI).** Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>>. Acesso em: 30 de junho de 2016.

ECOAR – Instituto Ecoar para cidadania. **Efeito Estufa.** São Paulo, 2003.5p.

ESTÉVEZ, T. P. **Madeira para peletes ou para construção/incorporação em habitações: qual a melhor opção na perspectiva da redução da emissão de GEE?.** 2013, 97p. Dissertação (Mestrado), Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Lisboa, 2013.

FIORENTIN, L. D. *et al.* Quantificação e modelagem da biomassa e carbono da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Brasileira de Biomassa**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 251-267, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Assessment of the status of the development of the Standards for the Terrestrial Essential Climate Variables:** biomass. Roma, 2009. 18 p.

FRONDIZI, I. M. R. L (coord.). **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL.** Guia de Orientação. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2009. 132 p.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais.** 2005, 73p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, UFV/DEF, Viçosa, 2005.

GATTO, A. *et al.* Estoque de carbono na massa seca de plantações de eucalipto na região centro-leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011.

GIBBS, H. K. *et al.* Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, USA, v. 2, p. 1–13, 2007.

HALL, D. O.; RAO, K. K. **Fotossíntese.** São Paulo, Pedagógica e Universitária.1980, 89 p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: **Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: CVRD, p. 125-145, 1994.

HOEN, H.; SOLBERG, B. Potential and economics efficiency of carbon sequestration in Forest biomass through silvicultural management. **Forest Science**, Bethesda, v. 40, n. 3, p. 429-451, 1994.

HOUGHTON, J. **Global Warming: the complete briefing**. 3 ed. Cambridge: Cambridge University Press. 2004 [reimpressão de 2006].

IBÁ, INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores: Dados e estatísticas do setor florestal brasileiro**. 80 p, 2015.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry**. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan, 2003. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LUL_UCF_FULL.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2016..

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Tokyo: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 15 de junho de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge-UK, Cambridge University Press, 2007, 976 pp.

JACOVINE, L. A. G. *et al.* Estocagem e geração de créditos de carbono **.In: Eucaliptocultura no Brasil - Silvicultura, Manejo e Ambiente**. Viçosa – MG, Editora Suprema, 2013. 700p.

KHALILI, A. E. O que são Créditos de Carbono? **Revista Eco** 21, v. 12, n. 74, [n.p.], 2003.

KOEHLER, H. S. *et al.* Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na floresta ombrófila mista. **Biomassa & Energia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 69-77, 2005.

LEITE, F. P. *et al.* Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 3, p. 313-322. 1997.

LELES, P. S. S. *et al.* Crescimento, produção e fixação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.

LEMONS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C. Pinto. **As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU**. BNDES Setorial, v. 32, p. 153-192, 2010.

LITTON, C., RAICH, J. W., RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 13, p. 2089-2109, 2007.

LOPES, D.; ARANHA, J.; Avaliação do Conteúdo de Carbono na Matéria Seca de Diferentes Componentes de Árvores de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster*. **Silva Lusitana**, Lisboa-Portugal, v. 14, n. 2, p. 149 - 154, 2006.

LOPES, I. V. (coord.). **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002, 90 p.

LOUREIRO, B. A. **Quantificação de biomassa e de carbono em diferentes espaçamentos de eucalipto na Zona da Mata de minas gerais**. 2014, 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Viçosa, UFV/DEF, Viçosa, 2014.

MATHEUS, M. T. Sequestro de carbono sob a ótica florestal no Brasil. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha - MA, v. 6, n. 1, p. 104-116, 2012.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Estimativa da quantidade de carbono fixado pelas florestas plantadas**. 2001. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima>. Acesso em: 30/05/2016.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Status dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil**. 2016. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0238/238910.pdf Acesso em: 30/05/2016.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fundo Nacional sobre mudança do clima**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima>> Acesso em 10 de junho de 2016.

MOLION, L. C. B. Mitos do aquecimento global. **Plenarium**, v. 5, n. 5, p. 48 - 65, 2008 a.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 7-24. 2008 b.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil (Eucalypt cultivation in Brazil)**. São Paulo: SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008.

NEVES, J. C. L. **Produção e participação de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Rio de Janeiro, 2000.

NEVES, T. A. *et al.* Qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

NOBRE, C. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. **Parcerias estratégicas**, Brasília-DF, n. 27, p. 7-17, 2008.

NUTTO, L. *et al.* O mercado internacional de CO₂: impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* **As florestas e o carbono**. Curitiba: FUPEF/UFPR,, 2002. p. 89-108.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434 p.

PEREIRA, J. C. D. *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo-PA, Embrapa Florestas (Documentos 38), 2000. 113p.

PEREIRA, J. C. *et al.* Produção de biomassa em um povoamento de *Acácia mearnii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 521-526, 1997.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 2839-2851, 2011.

PROTÁSIO, T.P. *et al.* Commercial clones of *Eucalyptus* at different ages for bioenergetic use of wood. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 42, n. 101, p. 113-127, 2014.

RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. **Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects**. Advances in Global Change Research. Springer Science, v. 29. 2008. 304 p.

RESENDE, A. S. *et al.* **Efeito estufa e o sequestro de carbono em sistemas de cultivo com espécies florestais e na cultura de cana-de-açúcar**. Seropédica-RJ, Embrapa Agrobiologia (Documentos 133), 2001. 23 p.

REZENDE, E. N.; GRACCO, A. S. D. S. **A Política Energética de Baixo Carbono em Direção do Paradigma Vinculativo Pós-Kioto e as Mudanças Climáticas**. Revista Eletrônica de Direito do Centro Universitário Newton Paiva, Belo Horizonte, v. 1, n. 18, p. 18-28, 2012.

RIBEIRO, S. C. *et al.* Quantificação de massa seca e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 3, p. 495-504, 2010.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, UFV/DEF, Viçosa-MG, 2011.

ROCHA, M. T. O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 2002. p. 1-34.

SALERNO, R. J. **Economia descarbonizada: mecanismo de desenvolvimento limpo e mercados de carbono**. Anais do 10º Congresso de Direito Ambiental, São Paulo: 2012.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 2002. p.119–140.

SANQUETTA, C. R. et al. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014.

SARTÓRIO, I. P. Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades / Ian Pereira Sartório. – 2014 136 f. : il.

SCARPINELLA, G. D. **Reflorestamento no Brasil e Protocolo de Kyoto**. São Paulo, 82p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2002.

SCHIKOWISKI, A. B.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013.

SCHUMACHER, M.V., WITSCHORECK, R., CALIL, F.N. Biomassa em povoamento de *Eucalyptus spp.* de pequenas propriedade rurais em Vera Cruz - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SILVA, C. A. Carbono na parte aérea de plantios de *Eucalyptus spp.* – em nível de árvore por amostragem destrutiva e para talhões inteiros após o ajuste de métricas LiDAR / Carlos Alberto Silva.- - Piracicaba, 2013. 152 p: il.

SILVA, C.A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S.P.C.; PICCOLO, M.C. RODRIGUEZ, L.C.E. Estoque de carbono na massa seca aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus spp.* **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 43, n. 105, p. 135-146, 2015.

SILVEIRA ,P., KOEHLER, H.S., SANQUETTA, C. R., ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, 2008.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, 2006.

STATE OF THE FOREST CARBON MARKETS. Ahead of the curve. Washington, 2015. 55 p. 2015.

TONIOLO, J. C.; CARNEIRO, C. D. R. Processos geológicos de fixação de carbono na Terra e aquecimento global. **TERRA E DIDÁTICA** v. 6, n. 1, p. 31-56, 2010

TRUGILHO, P. F.; ARANTES, M. D. C.; PÁDUA, F. A.; ALMADO, R. P.; ANA, E. R. B. Estimativa de carbono na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras-MG, v. 16, Suplemento, p. 33-40, 2010.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**, São Luís- MA: EDUFMA, 230 p., 2010.

WINK, C.; REINERT, D. J.; MÜLLER, I.; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de Carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 2, p. 333-343, 2013.

YU, C.M. **Sequestro florestal do carbono no Brasil**: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume; IEB, 2004. 280 p.